



TUGAS AKHIR – RC 14-1501

**EVALUASI KETERSEDIAAN RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPERASIONAL PENERBANGAN  
DI BANDARA HUSEIN SASTRANEGARA**

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
NRP. 3112 100 092

Dosen Pembimbing  
Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



TUGAS AKHIR – RC 14-1501

**EVALUASI KETERSEDIAAN RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPERASIONAL PENERBANGAN  
DI BANDARA HUSEIN SASTRANEGARA**

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
NRP. 3112100092

Dosen Pembimbing  
Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



---

FINAL PROJECT – RC 14 - 1501

**EVALUATION ON AIR SPACE AVAILABILITY  
FOR FLIGHT OPERATIONAL SAFETY  
AT HUSEIN SASTRANEGARA AIRPORT**

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
NRP. 3112100092

Advisor  
Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**EVALUASI KETERSEDIAAN RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPERASIONAL PENERBANGAN  
DI BANDARA HUSEIN SASTRANEGARA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**RISKA RIF'ATUN NISWAH**  
NRP. 3112 100 092

Ditetapkan oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Dr. Erving Ahyudanari, M.E., Ph.D.  
(NIP. 196902241994122001)

**SURABAYA  
JULI, 2016**

**EVALUASI KETERSEDIAAN RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPERASIONAL PENERBANGAN  
DI BANDARA HUSEIN SASTRANEGARA**

**Nama Mahasiswa : Riska Rif'atun Niswah**  
**NRP : 3121100092**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS**  
**Dosen Pembimbing: Ir. Ervina Ahyudanari ME, Ph.D**

**Abstrak**

*Ditinjau dari letak topografi, Kota Bandung terletak pada ketinggian rata-rata +791m dpl. Titik tertinggi di daerah utara dengan ketinggian +1050 m dpl dan terendah di sebelah selatan dengan ketinggian +675 m dpl. Secara fisik, letak Bandara Husein Sastranegara yang berada di tengah pemukiman padat, dengan topografi sekitar Bandara Husein Sastranegara Bandung yang merupakan dataran tinggi dikelilingi pegunungan. Sehingga, perlu diperhatikan keselamatan operasional penerbangan akibat pergerakan pesawat terkait dengan terbatasnya ruang udara.*

*Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan evaluasi pola pergerakan pesawat terhadap topografi dan kawasan operasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara. Selain itu juga dilakukan evaluasi kapasitas dan berat masing-masing pesawat terbang yang beroperasi terhadap ruang udara yang tersedia, dalam hal ini berkaitan dengan jarak tempuh pesawat dan panjang runway yang tersedia, serta konsumsi bahan bakar dan payload pesawat.*

*Evaluasi dalam tugas akhir ini memberikan hasil bahwa pada arah memanjang runway, kawasan keselamatan operasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi memenuhi syarat dan menjamin keselamatan operasional. Pada arah melintang runway, kawasan operasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi tidak memenuhi, karena elevasi topografi lebih tinggi dari pada batas elevasi kawasan keselamatan operasi penerbangan (KKOP) Bandara Husein*

*Sastranegara dan pergerakan masing-masing pesawat tidak mengalami gangguan keselamatan operasional terhadap topografi. Dalam radius destinasi 820 nm pesawat dapat menghabiskan bahan bakar sebesar 12325.61 liter sehingga konsumsi bahan bakar pesawat per panjang destinasi yang ditempuh adalah 15 liter/nautical miles. Operasional pesawat optimum adalah pada jarak tempuh 962 nm (1781.62 km) dengan mengkonsumsi bahan bakar sebesar 14200 liter dan payload sebesar 12387 kg. Pesawat boeing 737-800 yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara Bandung, dapat memperpanjang jarak tempuhnya hingga sejauh 962nm.*

***Kata Kunci : Ruang Udara, Keselamatan Operasional Penerbangan, Topografi Bandara***

**EVALUATION ON AIR SPACE AVAILABILITY  
FOR FLIGHT OPERATIONAL SAFETY  
AT HUSEIN SASTRANEGARA AIRPORT**

**Name** : Riska Rif'atun Niswah  
**NRP** : 3121100092  
**Department** : Civil Engineering FTSP-ITS  
**Advisor** : Ir. Ervina Ahjudanari ME, Ph.D

**Abstrack**

*Based on its topography, Bandung is located at an average altitude of +791 m above sea. The highest point in the northern areas with altitude +1050 m above sea level and the lowest in the south with a height of +675 m. The location of the Husein Sastranegara Airport in the middle of densely populated, with its topography surrounded by mountains. Therefore, it's an important thing to give an attention to the safety of flight operations due to the movement of aircraft associated with the limited air space.*

*In this paper, it would be evaluated the patterns of air movement towards regional topography and flight operations service of Husein Sastranegara airport. It was also conducted an evaluation capacity and weight of each aircraft that operates the air space available, in this case related to the aircraft and the distance of the available runway length, as well as fuel consumption and payload aircraft.*

*The evaluation in this paper provides the results that the longitudinal direction of the runway, flight operations safety area of Husein Sastranegara Airport to the topography was eligible and ensured the operational safety. In the transverse direction of the runway, the flight operations department of Husein Sastranegara Airport to the topography did not meet, because the topographic elevation higher than the elevation of the boundary area of the safety of flight operations (KKOP) Husein Sastranegara Airport. Also the movement of each plane was not impaired operational*

*safety of the topography. Within a radius of 820 nm destinations could best spend at 12325.61 liters of fuel, so that the fuel consumption per destination reached was 15 liters / nautical miles. Flight Operations optimum mileage is at 962 nm (1781.62 km) with fuel consumption of 14200 liters and a payload of 12 387 kg. Boeing 737-800 aircraft operating in Bandung Husein Sastranegara Airport is able to extend the distance as far as 962nm.*

***Keywords: Airspace, Flight Operational Safety, Airport Topography***



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir “*Evaluasi Ketersediaan Ruang Udara dalam Kaitannya dengan Keselamatan Operasional Penerbangan di Bandara Husein Sastranegara*” ini dengan lancar. Tugas Akhir ini disusun penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini, Penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ayah Mukarom, Ibu Daris Salamah, M. Hafid Kumaini, M. Jimly Ash-Shidiqie, yang selalu menjadi alasan penulis untuk selalu bertahan dan semangat menggapai mimpi dan cita-cita penulis.
2. Ir. Ervina Ahyudanari, ME, PhD, selaku Ibu selama masa perkuliahan, dosen pembimbing tugas akhir dan dosen wali yang selalu sabar dan sepenuh hati membimbing, mengarahkan, memberi saran, dukungan dan nasihat untuk penulis.
3. Ir. Wahyu Herijanto, MT, Budi Rahardjo ST. MT., Istiar, ST. MT., selaku dosen penguji yang telah menguji dan memberi masukan positif untuk tugas akhir penulis.
4. Mbah Uti, tante Fadhluna dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, doa dan semangat kepada penulis.
5. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Sipil ITS atas waktunya memberikan ilmu-ilmu yang berguna untuk penulis.
6. Sahabat-sahabat saya, Aufa, Elok, dan Randra yang sering menemani lembur gembira dan mendengar keluh kesah selama pengerjaan tugas akhir penulis
7. HMJ (Tika, Ummah, Shela, Shobi, Restu, Randra, Ojan, Setyono, Dede, Mocha, Dewi, Panji), Paralayang (Iftitah,

Zaim, Adam, Cecen), Fantastic 4 (Ifitah, Andre, Eva), BPP (Cessi, Naura, Shinta), Mbabat Alas Sampoerna Academy Alumni, Bandara bandara (Mbak Dyni, Mas Habid, Mocha) dan sahabat ITS Expo yang selalu ada saat penulis membutuhkan semangat dan dukungan.

8. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember, khususnya teman-teman angkatan 2012, Jurusan Teknik Sipil yang telah banyak memberikan semangat, bantuan, kenangan yang berharga.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kesalahan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik agar lebih baik lagi di masa mendatang.

Surabaya, 5 Juni 2016  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRAK BAHASA INGGRIS.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Lokasi Studi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Bandar Udara.....	5
2.2.1 Komponen-Komponen Bandar Udara.....	5
2.3 Landas Pacu ( <i>Runway</i> ) .....	6
2.3.1 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Panjang <i>Runway</i> .....	11
2.4 Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan.....	17
2.4.1 Fungsi Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan .....	17
2.4.2 Batasan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan .....	18
2.4.3 Persyaratan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan .....	26
2.5 Pemberian Lampu dan Pemasangan Lampu Halangan ( <i>Obstacle Loght</i> ).....	26
2.5.1 Warna Lampu Halangan.....	27

2.5.2	Jenis Lampu Halangan.....	29
2.6	Peta Topografi .....	33
2.6.1	Membuat Potongan Profil Topografi.....	34
2.6.2	Menentukan Gradien Jalan Pada Peta.....	36
2.7	Pola Pergerakan Pesawat .....	37
2.8	Variasi Berat Pesawat .....	42
2.8.1	<i>Aircraft Gross Weight</i> .....	42
2.8.2	<i>Manufacturer's Empty Weight (MEW)</i> .....	42
2.8.3	<i>Operation Empty Weight (OEW)</i> .....	43
2.8.4	<i>Actual Zero Fuel Weight (AZFW)</i> .....	43
2.8.5	<i>Actual Gross Weight (AGW)</i> .....	44
2.8.6	<i>Take off Weight</i> .....	44
2.8.7	<i>Maximum Design Takeoff Weight (MTDOW)</i> ....	44
2.8.8	<i>Landing Weight</i> .....	45
BAB III METODOLOGI .....		47
3.1	Umum .....	47
3.2	Tahap Pengerjaan.....	47
3.2.1	Tahap Persiapan.....	47
3.2.2	Tahap Identifikasi Permasalahan.....	49
3.2.3	Tahap Studi Literatur.....	49
3.2.4	Tahap Pengumpulan Data Sekunder.....	50
3.2.5	Tahap Analisis Data.....	59
3.2.6	Hasil Analisis.....	64
3.3	Diagram Alir Metodologi .....	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		67
4.1	Umum .....	67
4.2	Analisis Panjang <i>Runway</i> .....	67
4.2.1	Evaluasi Panjang <i>Runway</i> .....	67
4.2.2	Evaluasi Lebar <i>Runway</i> .....	70
4.3	Analisis Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan Topografi .....	71
4.3.1	Penentuan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP).....	71
4.3.2	Koordinat Geografis .....	76

4.3.3	Topografi di Bawah Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan .....	78
4.3.4	Evaluasi KKOP Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi.....	80
4.4	Analisis Karakteristik Pola Pergerakan Masing-masing Pesawat yang Beroperasi di Bandara Husein Sastranegara.....	84
4.5	Analisis kesesuaian pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan topografi .....	92
4.6	Pengaruh Berat Pesawat terhadap Ruang Udara .....	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		99
5.1	Kesimpulan.....	99
5.2	Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA .....		103
BIODATA PENULIS .....		105
LAMPIRAN A Data BMKG dan Angkasa Pura I		
LAMPIRAN B Data Pola Pergerakan Pesawat		
LAMPIRAN C Analisa Perhitungan Pola Pergerakan Pesawat		
LAMPIRAN D Gambar Analisa Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan		
LAMPIRAN E Gambar Analisa KKOP terhadap Topografi		
LAMPIRAN F Gambar Analisa Pergerakan Pesawat Terhadap Topografi		
LAMPIRAN G Lain-lain		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ukuran sistem <i>runway</i> .....	7
Gambar 2.2 <i>Object-free zone</i> dimension .....	9
Gambar 2.3 Angin Permukaan .....	13
Gambar 2.4 Sistem koordinat dan template <i>wind rose</i> .....	15
Gambar 2.5 Kawasan pendekatan lepas landas .....	19
Gambar 2.6 Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan .....	20
Gambar 2.7 Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam.....	21
Gambar 2.8 Kawasan di bawah permukaan horizontal luar .....	22
Gambar 2.9 Kawasan di bawah permukaan kerucut .....	23
Gambar 2.10 Pemberian marka dan pemasangan lampu pada bangunan.....	28
Gambar 2.11 Pola dasar marka.....	29
Gambar 2.12 Pemasangan lampu pada bangunan .....	32
Gambar 2.13 Berbagai kenampakan kontur .....	34
Gambar 2.14 Profil permukaan lahan dari potongan garis A-B ..	34
Gambar 2.15 Pemotongan garis kontur .....	35
Gambar 2.16 Potongan yang menunjukkan intervisibilitas .....	35
Gambar 2.17 Kemiringan lereng atau slope .....	36
Gambar 2.18 Contoh pola pergerakan pesawat .....	38
Gambar 2.19 Grafik <i>Angle of Attack</i> .....	39
Gambar 2.20 Grafik hubungan antara <i>agle of attact</i> dengan <i>lift/drag ratio</i> .....	41
Gambar 2.21 Grafik Berat Operasional Pesawat.....	46
Gambar 3.1 Kondisi terminal Bandara Husein Sastranegara .....	48
Gambar 3.2 Kondisi Apron Bandara Husein Sastranegara .....	48
Gambar 3.3 Pola pergerakan pesawat Airbus 320.....	54

Gambar 3.4 Layout Bandara Husein Sastranegara.....	55
Gambar 3.5 Contoh membuat path pada google earth .....	56
Gambar 3.6 Penampilan kontur 2D pada quikgrid.....	57
Gambar 3.7 Penampilan kontur 3D pada quikgrid.....	57
Gambar 3.8 Data Temperatur.....	58
Gambar 3.9 Diagram alir penentuan KKOP.....	60
Gambar 3.10 Penyesuaian KKOP dengan Peta Topografi (1) ....	61
Gambar 3.11 Penyesuaian KKOP dengan Peta Topografi (2) ....	62
Gambar 3.12 Diagram alir evaluasi pola pergerakan pesawat ...	63
Gambar 3.13 Pesawat yang masih memiliki jarak ijin terhadap topografi .....	64
Gambar 3.14 Diagram Alir Metode Tugas Akhir .....	65
Gambar 4.1 Kawasan Pendekatan Lepas Landas .....	72
Gambar 4.2 Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan.....	73
Gambar 4.3 Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam ....	73
Gambar 4.4 Kawasan di bawah permukaan horizontal luar .....	74
Gambar 4.5 Kawasan di bawah permukaan kerucut .....	75
Gambar 4.6 Kawasan keselamatan operasi penerbangan .....	76
Gambar 4.7 KKOP terhadap kontur topografi wilayah sekitar Bandara Husein Sastranegara.....	79
Gambar 4.8 KKOP terhadap kenampakan muka bumi .....	79
Gambar 4.9 Menentukan potongan memanjang dan melintang KKOP terhadap topografi (warna biru).....	80
Gambar 4.10 Elevasi potongan memanjang topografi .....	81
Gambar 4.11 Elevasi potongan melintang topografi.....	81
Gambar 4.12 Potongan memanjang KKOP terhadap topografi ..	81
Gambar 4.13 Potongan melintang KKOP terhadap topografi .....	82
Gambar 4.14 Peletakan <i>obstacle light</i> .....	83
Gambar 4.15 Flash pada pesawat boeing 737-800.....	84

Gambar 4.16 <i>Angle of attack</i> .....	88
Gambar 4.17 Grafik menentukan <i>lift/drag ratio</i> .....	90
Gambar 4.18 Topografi kawasan bandara pada arah <i>runway</i> 11-29 .....	92
Gambar 4.19 <i>Lift off</i> suatu pesawat .....	92
Gambar 4.20 Grafik perngaruh range dan payload pesawat boeing 737-800.....	94
Gambar 4.21 Grafik Berat operasi lepas landas pesawat boeing 737-800.....	95
Gambar 4.22 Grafik payload, fuel, dan jarak operasional Boeing 737-800.....	96



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standard dimensi <i>runway</i> dalam ft untuk approach pesawat kategori A dan B.....	9
Tabel 2.2 Standard dimensi <i>runway</i> dalam ft untuk approach pesawat kategori C, D dan E .....	10
Tabel 2.3 ICAO <i>Runway</i> dan standar dimensi <i>runway</i> strip dalam meter (m) .....	10
Tabel 2.4 Hubungan antara elevasi bandara dan suhu bandara ...	12
Tabel 2.5 Pengaruh Angin Terhadap Panjang <i>Runway</i> .....	13
Tabel 2.6 Tabel klasifikasi <i>runway</i> .....	25
Tabel 2.7 Tanda jenis lampu I.....	30
Tabel 2.8 Tanda jenis lampu II.....	31
Tabel 2.9 Tanda jenis lampu III .....	31
Tabel 2.10 Contoh perhitungan berat operasional.....	45
Tabel 3.1 Rekapitan keberangkatan pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara tanggal 8 Januari 2015. ....	50
Tabel 3.2 Rekapitan kedatangan pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara tanggal 8 Januari 2015.....	52
Tabel 3.3 Karakteristik pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara. ....	54
Tabel 4.1 Jenis dan karakteristik pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara.....	68
Tabel 4.2 Karakteristik pesawat kritis .....	68
Tabel 4.3 Karakteristik Landas Pacu Pesawat.....	69
Tabel 4.4 Lebar <i>runway</i> berdasarkan <i>code number</i> .....	70
Tabel 4.5 Dimensi KKOP berdasarkan klasifikasi <i>runway</i> .....	71

Tabel 4.6 Koordinat kawasan keselamatan operasi penerbangan77

Tabel 4.7 *Aircraft Performance* (1) .....85

Tabel 4.8 *Aircraft Performance* (2) .....85

Tabel 4.9 Perhitungan jarak masing-masing perubahan pola  
pergerakan.....86

Tabel 4.10 Perhitungan *climb gradient* .....90

Tabel 4.11 Perhitungan *Take of Run* (1).....91

Tabel 4.12 perhitungan *Take of Run* (2).....91

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu provinsi di Indonesia dengan jumlah penduduk mencapai 43.053.732 jiwa pada tahun 2010. Provinsi Jawa Barat mempunyai kepadatan penduduk 1301 jiwa/ km<sup>2</sup> pada tahun 2014, dan pada tahun 2010 hingga 2014, mempunyai laju pertumbuhan penduduk 1,58 pertahun (Badan Pusat Statistik, 2015). Besarnya laju pertumbuhan penduduk yang terjadi, berakibat meningkatnya kebutuhan mobilisasi atau aktivitas perpindahan tempat oleh penduduk dalam menunjang kebutuhan hidupnya. Hal tersebut berbanding lurus dengan permintaan jasa layanan transportasi baik transportasi darat, transportasi laut, maupun transportasi udara.

Transportasi udara, dibandingkan dengan transportasi laut dan darat, merupakan sarana transportasi yang menawarkan efektivitas dan efisiensi waktu yang lebih baik untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat lain, terutama tempat yang memiliki jarak yang jauh. Bandar Udara Husein Sastranegara merupakan bandar udara yang memegang peranan penting dalam pergerakan dan pertumbuhan ekonomi, serta merupakan salah satu pintu gerbang menuju Provinsi Jawa Barat. Bandar Udara Husein Sastranegara berlokasi di Kota Bandung. Bandara ini mempunyai kapasitas/ daya tampung 903 pax pada saat jam sibuk dan 500.000 penumpang per tahun. Pada tahun 2012 jumlah penumpang di bandara Husein Sastranegara sudah mencapai ±1,8 juta penumpang. Dan pada tahun 2013 jumlah penumpang di bandara Husein Sastranegara sudah mencapai ±2,6 juta penumpang (Angkasa Pura II, 2015).

Bandara Husein Sastranegara mempunyai sisi udara yang terdiri dari *runway*, *taxiway*, dan *apron*. Dengan panjang runway 2200 m dan lebar 45 m, Bandara Husein Sastranegara hanya mampu melayani 20 destinasi, dengan destinasi terjauh adalah Bandung – Bandara Internasional Kualanamu yaitu 820 *nautical*

*miles*. Hal tersebut menunjukkan bahwa jarak tempuh pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara relatif pendek. Pesawat terbesar yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara adalah A320 dan Boeing 737-800.

Ditinjau dari letak topografi, Kota Bandung terletak pada ketinggian rata-rata +791m dpl. Titik tertinggi di daerah utara dengan ketinggian +1050 m dpl dan terendah di sebelah selatan dengan ketinggian +675 m dpl. Secara fisik, letak Bandara Husein Sastranegara yang berada di tengah pemukiman padat, dengan topografi sekitar Bandara Husein Sastranegara Bandung yang merupakan dataran tinggi dikelilingi pegunungan. Sehingga, perlu diperhatikan keselamatan operasional penerbangan akibat pergerakan pesawat terkait dengan terbatasnya ruang udara.

Oleh karena itu, penulis mencoba untuk mengevaluasi ketersediaan ruang udara yang berkaitan dengan keselamatan operasional Bandara Husein Sastranegara guna mengetahui kesesuaian kebutuhan ruang udara terhadap kawasan keselamatan operasi penerbangan.

### **1.1 Rumusan Masalah**

Beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini, antara lain sebagai berikut.

1. Bagaimana kesesuaian Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan topografi wilayah sekitar bandara Husein Sastranegara?
2. Bagaimana kesesuaian pola pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan topografi di Bandara Husein Sastranegara?
3. Bagaimana pengaruh berat pesawat terhadap ruang udara pada pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara?

### **1.2 Batasan Masalah**

Agar penulisan Tugas Akhir ini tidak terjadi penyimpangan dalam pembahasan masalah, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut.

1. Tugas akhir ini tidak memperhitungkan adanya crosswind.
2. Data klimatologi yang dijadikan acuan analisis pada tugas akhir ini hanya data angin pada periode Januari 2011 – Oktober 2015.
3. Tugas akhir ini tidak memperhitungkan pesawat militer yang ikut beroperasi pada runway Bandara Husein Sastranegara
4. Tugas akhir ini tidak memperhitungkan operasional pesawat – pesawat untuk uji kelayakan terbang dari PT. Dirgantara Indonesia.
5. Analisis keselamatan yang dilakukan adalah berdasarkan kondisi topografi area sekitar bandara dan tidak meninjau ketinggian gedung. Asumsinya bahwa pendirian gedung sudah mendapatkan izin pertimbangan keselamatan dari pihak bandara.
6. Tugas Akhir ini tidak mempertimbangkan pesawat yang tidak terjadwalkan
7. Tugas akhir ini tidak mempertimbangkan peta jalur pesawat.
8. Tugas akhir ini tidak memperhitungkan elastisitas harga.

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kesesuaian Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan topografi wilayah sekitar bandara Husein Sastranegara.
2. Mengetahui kesesuaian pola pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan topografi di Bandara Husein Sastranegara.
3. Mengetahui pengaruh berat pesawat terhadap ruang udara pada pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara.

Gambar 1.1 Lokasi Bandara Husein Sastranegara Bandung  
Sumber : google earth

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Tinjauan pustaka merupakan suatu pembahasan dengan dasar buku-buku referensi dan peraturan yang bertujuan untuk memperkuat materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk menggunakan rumus-rumus tertentu dalam proses perhitungan. Objek yang menjadi fokus dalam hal ini adalah evaluasi ketersediaan ruang udara dalam kaitannya dengan keselamatan operasional bandara. Pada Tugas Akhir ini, digunakan Kota Bandung sebagai objek umum dan Bandara Husein Sastranegara sebagai objek khusus.

#### **2.2 Bandar Udara**

Bandar Udara atau disebut Bandara adalah lapangan terbang yang dipergunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat kargo/atau pos, serta dilengkapi dengan fasilitas keselamatan penerbangan dan sebagai tempat perpindahan antar moda transportasi (UU No 15 tahun 1992 tentang Penerbangan)

##### **2.2.1 Komponen-Komponen Bandar Udara**

Untuk mendukung semua kegiatan-kegiatan yang berlangsung dalam lapangan terbang, maka sangatlah dibutuhkan komponen-komponen lapangan terbang yang sangat memadai dan berfungsi dengan baik. System lapangan terbang terbagi atas dua yaitu sisi udara (*Air side*) dan sisi darat (*Land Side*). Adapun komponen-komponen dari kedua system lapangan terbang diatas adalah sebagai berikut (Sinaga,2014):

- a. *Runway* (R/W) atau landas pacu
- b. *Taxiway* (T/W) atau landas hubung
- c. *Apron*
- d. Terminal building atau gedung terminal



- e. Gudang
- f. Tower atau menara pengontrol
- g. Fasilitas keselamatan
- h. *Utility* (Fasilitas listrik, Telepon, dan bahan bakar)

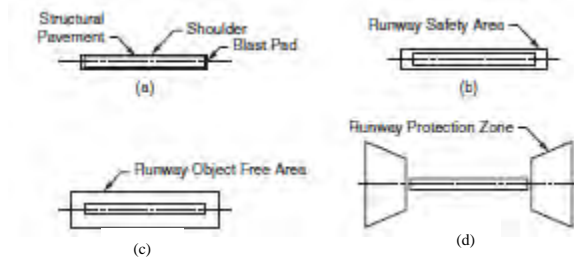
### 2.3 Landas Pacu (*Runway*)

*Runway* adalah jalur perkerasan yang dipergunakan oleh pesawat terbang untuk mendarat (*landing*) atau lepas landas (*take off*). Sebagai pemandu untuk perencanaan bandara, FAA menerbitkan *Advisory Circular 150/5325-4b "Runway Length Requirements for Airport Design"* tahun 2005. Prosedur yang ditetapkan untuk memperkirakan panjang desain landasan pacu pesawat, berdasarkan maximum takeoff weights (MTOW), spesifikasi kinerja pesawat tertentu, dan bidang elevasi dan suhu sekitar bandara. Desain panjang *runway* bandara ditemukan untuk pesawat kritis, didefinisikan sebagai pesawat yang terbang dengan segmen rute nonstop terbesar dari bandara setidaknya 500 operasi per tahun dan membutuhkan *runway* terpanjang. Prosedur FAA untuk memperkirakan panjang landasan pacu didasarkan pada data sebagai berikut:

1. Pesawat kritis yang ditunjuk
2. Berat maximum takeoff pesawat kritis pada Bandara
3. Elevasi bandara
4. Rata-rata harian maksimum suhu pada bulan terpanas di Bandara
5. Perbedaan maksimal elevasi sepanjang garis tengah *runway*.

Menurut Horonjeff dalam *Planning and Design of Airport* sistem *runway* di suatu Bandara terdiri dari perkerasan struktur, bahu landasan (*shoulder*) dapat dilihat pada gambar 2.1 (a), bantal hembusan (*blast pad*) dapat dilihat pada gambar 2.1 (a), daerah aman *runway* (*runway end safety area*) dapat dilihat pada gambar 2.1 (b), variasi hambatan dan permukaan bebas (*various obstruction-free surface*) dapat dilihat pada gambar 2.1 (c), dan

daerah perlindungan *runway* (*runway protection zone*) dapat dilihat pada Gambar 2.1 (d).



Gambar 2.1 Ukuran sistem *runway*  
Sumber : Horonjeff, 2010

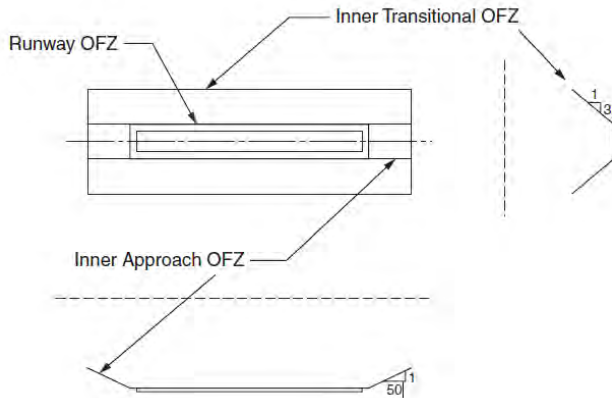
Uraian dari sistem *runway* adalah sebagai berikut:

1. Perkerasan struktur mendukung pesawat sehubungan dengan beban struktur, kemampuan manuver, kendali, stabilitas dan kriteria dimensi dan operasi lainnya.
2. Bahu landasan (*shoulder*) yang terletak berdekatan dengan pinggir perkerasan struktur menahan erosi hembusan jet dan menampung peralatan untuk pemeliharaan dan keadaan darurat.
3. Bantal hembusan (*blast pad*) adalah suatu daerah yang dirancang untuk mencegah erosi permukaan yang berdekatan dengan ujung-ujung *runway* yang menerima hembusan jet yang terus-menerus atau yang berulang. ICAO menetapkan panjang bantal hembusan 100 feet (30 m), namun dari pengalaman untuk pesawat-pesawat transport sebaiknya 200 feet (60 m), kecuali untuk pesawat berbadan lebar panjang bantal hembusan yang dibutuhkan 400 feet (120 m). Lebar bantal hembusan harus mencakup baik lebar *runway* maupun bahu landasan.
4. Daerah aman *runway* (*runway end safety area*) adalah daerah yang bersih tanpa benda-benda yang mengganggu, diberi drainase, rata dan mencakup perkerasan struktur, bahu

landasan, bantal hembusan dan daerah perhentian, apabila disediakan. Daerah ini selain harus mampu untuk mendukung peralatan pemeliharaan dan dalam keadaan darurat juga harus mampu mendukung pesawat seandainya pesawat karena sesuatu hal keluar dari landasan.

5. Zona bebas objek *runway* (*Object – free area*, OFA) didefinisikan oleh FAA sebagai dua dimensi luas tanah sekitar landasan pacu yang harus bersih dari pesawat parkir dan benda-benda selain yang sudah pasti diletakkan sesuai fungsinya.
6. Zona bebas hambatan *runway* (*Obstacle-free zone*, OFZ) adalah volume yang ditetapkan wilayah udara berpusat di atas landasan yang mendukung transisi antara tanah dan operasi udara. FAA menspesifikasikan ini sebagai wilayah udara di atas permukaan yang elevasinya sama dengan titik terdekat di tengah landasan pacu dan memperluas 200 ft setiap ujung luar landasan. OFZ pada Gambar 2.2
7. Zona dalam pendekatan bebas hambatan (*inner approach obstacle-free zone*), yang hanya berlaku untuk landasan pacu dengan approach lighting system, adalah wilayah udara di atas pusat permukaan pada perpanjangan pusat *runway* mulai 200 ft di luar ambang batas landasan pacu pada elevasi sama sebagai ambang landasan pacu dan memperluas 200 ft luar unit cahaya terakhir pada approach lighting system. Lebarnya adalah sama dengan zona bebas hambatan *runway* dan lereng ke atas pada perbandingan 50 horizontal untuk 1 vertikal.
8. Zona dalam transisi bebas hambatan (*inner transitional obstacle-free zone*), yang hanya berlaku untuk presisi landasan pacu instrumen, didefinisikan oleh FAA sebagai volume wilayah udara sepanjang sisi landasan pacu dan inner approach zona bebas hambatan. Lereng permukaan pada tingkat 3 horisontal untuk 1 vertikal keluar dari tepi zona bebas hambatan landasan pacu dan inner approach zona bebas hambatan hingga mencapai ketinggian 150 kaki di atas elevasi bandara didirikan.

9. Zona perlindungan *runway* (*Runway Protection Zone*, RPZ) adalah daerah di tanah digunakan untuk meningkatkan perlindungan orang dan objek dekat Pendekatan *runway*.



Gambar 2.2 *Object-free zone dimension*

Sumber : Horonjeff, 2010

FAA Standart *runway* akan dipaparkan pada Tabel 2.1 dan 2.2 untuk data yang sama untuk ICAO dipaparkan pada table 2.3.

Tabel 2.1 Standard dimensi *runway* dalam ft untuk approach pesawat kategori A dan B

	Approach Type									
	Visual and Nonprecision Instrument, Airplane Design Group					Precision Instrument, Airplane Design Group				
	I'	I	II	III	IV	I'	I	II	III	IV
Runway width	60	60	75	100	150	75	100	100	100	150
Shoulder width	10	10	10	20	25	10	10	10	20	25
Blast pad										
Width	80	80	95	140	200	95	120	120	140	200
Length	60	100	150	200	200	60	100	150	200	200
Safety area										
Width	120	120	150	300	500	300	300	300	400	500
Length <sup>a</sup>	240	240	300	600	1000	600	600	600	800	1000
Object-free area										
Width	250	400	500	800	800	800	800	800	800	800
Length <sup>a</sup>	300	500	600	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Obstacle-free zone										
Width <sup>a</sup>	120 <sup>b</sup>	250	250	250	250	300	300	300	300	300
Length <sup>b</sup>	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Sumber : Horonjeff, 2010

Tabel 2.2 Standard dimensi *runway* dalam ft untuk approach pesawat kategori C, D dan E

	Airplane Design Group					
	I	II	III	IV	V	VI
Runway width	100	100	100*	150	150	200
Shoulder <sup>a</sup> width	10	10	20*	25	35	40
Blast pad						
Width	120	120	140*	200	220	280
Length	100	150	200	200	400	400
Safety area						
Width <sup>c</sup>	500	500	500	500	500	500
Length <sup>d</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Object-free area						
Width	800	800	800	800	800	800
Length <sup>d</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Obstacle-free zone						
Width <sup>e</sup>	400	400	400	400	400	400
Length <sup>f</sup>	200	200	200	200	200	200

Sumber : Horonjeff, 2010

Tabel 2.3 ICAO *Runway* dan standar dimensi *runway* strip dalam meter (m)

	Aerodrome Code Letter				
	A	B	C	D	E
Pavement width					
Aerodrome code number					
1*	18	18	23		
2*	23	23	30		
3	30	30	30	45	
4			45	45	45
Pavement and shoulder width <sup>†*</sup>			60	60	60
	Aerodrome Code Number				
	1	2	3	4	
Runway strip width <sup>†</sup>					
Precision approach	150	150	300	300	
Nonprecision approach	150	150	300	300	
Visual approach	60	80	150	150	
Clear and graded area width <sup>†</sup>					
Instrument approach	80	80	150 <sup>§</sup>	150 <sup>§</sup>	
Visual approach	60	80	150	150	

Sumber : Horonjeff, 2010

### 2.3.1 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Panjang *Runway*

Lingkungan Bandara yang berpengaruh terhadap panjang *runway* adalah: temperatur, angin permukaan (*surface wind*), kemiringan *runway* (*effective gradient*), elevasi *runway* dari permukaan laut (*altitude*) dan kondisi permukaan *runway*. Sesuai dengan rekomendasi dari *International Civil Aviation Organization (ICAO)* bahwa perhitungan panjang *runway* harus disesuaikan dengan kondisi lokal lokasi Bandara. Metoda ini dikenal dengan metoda *Aeroplane Reference Field Length (ARFL)*. Menurut *International Civil Aviation Organization (ICAO)*, *Aeroplane Reference Field Length (ARFL)* adalah *runway* minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas pada maximum sertificated *take off weight*, elevasi muka laut, kondisi standard atmosfir, keadaan tanpa ada angin, *runway* tanpa kemiringan (kemiringan = 0). Jadi didalam perencanaan persyaratan - persyaratan tersebut harus dipenuhi dengan melakukan koreksi akibat pengaruh dari keadaan lokal. Adapun uraian dari faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut.

#### 2.3.1.1 Temperatur

Keadaan temperatur Bandara pada masing-masing tempat tidak sama. Makin tinggi temperatur di Bandara makin panjang *runway*nya. Sebab semakin tinggi temperatur maka densitynya makin kecil yang mengakibatkan thrust (kekuatan mendesak) pesawat (untuk lari diatas landasan) itu berkurang. Sehingga dengan kondisi seperti ini akan dituntut *runway* yang panjang.

Suhu temperatur standar adalah 15°C atau 59°F. Menurut ICAO panjang *runway* harus dikoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1°C. Sedangkan untuk setiap kenaikan 1000 m dari permukaan laut temperatur akan turun 6.5°C. Dengan dasar ini *International Civil Aviation Organization (ICAO)* menetapkan hitungan koreksi temperatur dengan rumus:

$$F_t = 1 + 0,01 \{ T - ( 15 - 0,0065 \times h ) \} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan,

Ft : Faktor koreksi temperature

T : Temperatur di bandara ( °C )

Dengan menggunakan suhu maksimum harian rata-rata bulan terpanas di bandara. Suhu ini sudah tersedia dan menghasilkan panjang operasional realistis. Dalam aplikasi sebenarnya, desainer bandara menggunakan pasal 2 dan 3 adalah untuk menerapkan nilai suhu yang sebenarnya angka yang disediakan. Desainer Bandara menggunakan APM yang mempekerjakan baik tabel dari APM ketika suhu yang sebenarnya jatuh dalam kisaran suhu yang ditentukan atau, ketika berada di luar kisaran suhu yang ditentukan, untuk menghubungi produsen pesawat langsung untuk landasan *runway* yang berlaku. Hubungan antara elevasi bandaradan suhu bandara akan dipaparkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hubungan antara elevasi bandara dan suhu bandara

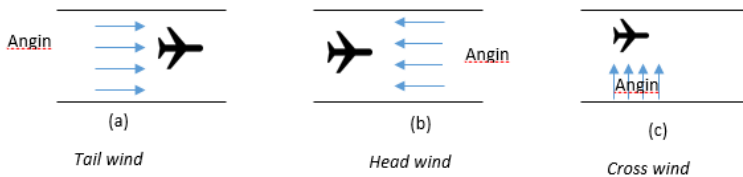
Airport Elevation <sup>1</sup>		Standard Day Temperature <sup>1</sup> (SDT)	
Feet	Meters	° F	° C
0	0	59.0	15.00
2,000	609	51.9	11.04
4,000	1,219	44.7	7.06
6,000	1,828	37.6	3.11
8,000	2,438	30.5	-0.85

Catatan 1 : Interpolasi linear antara elevasi bandara dan standard suhu harian yang diizinkan.

Sumber : Horonjeff, 2010

### 2.3.1.2 Angin Permukaan (*Surface Wind*)

Landasan pacu biasanya oriented berdasarkan kondisi angin di wilayah itu. Dengan demikian, analisis angin sangat penting untuk perencanaan *runway*. Sebagai aturan umum, landasan utama di bandara harus berorientasi berdasarkan arah angin yang berlaku.



Gambar 2.3 Angin Permukaan

Panjang *runway* sangat ditentukan oleh angin. Dibedakan atas 3 keadaan. (Gambar 2.3)

- Keadaan (a) arah angin = arah pesawat, hal ini akan memperpanjang landasan.
- Keadaan (b) arah angin berlawanan dengan arah pesawat, hal ini akan memperpendek landasan.
- Keadaan (c) arah angin tegak lurus arah pesawat, hal ini tidak mungkin dipakai suatu perencanaan.

Tabel 2.5 Pengaruh Angin Terhadap Panjang *Runway*

Kekuatan Angin	Persentase Pertambahan / pengurangan Runway
+5	-3
+10	-5
-5	+7

Sumber: Heru Basuki, 1986



Panjang *runway* yang diperlukan lebih pendek bila bertiup angin haluan (*head wind*) dan sebaliknya bila bertiup angin buritan (*tail wind*) maka *runway* yang diperlukan lebih panjang. Angin buritan (*tail wind*) maksimum yang diizinkan bertiup dengan kekuatan 10 knots. Tabel 2.5 tersebut memberikan perkiraan pengaruh angin terhadap panjang *runway*. Untuk perencanaan Bandara diinginkan tanpa tiupan angin tetapi tiupan angin lemah masih baik.

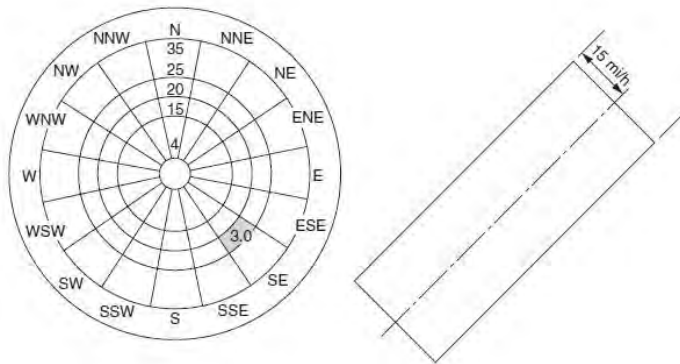
Ketika mendarat dan lepas landas, pesawat mampu manuver di landasan pacu selama komponen angin di sudut yang benar ke arah perjalanan, komponen crosswind, tidak berlebihan. FAA merekomendasikan bahwa landasan pacu harus berorientasi sehingga pesawat yang dapat mendarat setidaknya 95% dari waktu komponen crosswind yang diizinkan tidak melebihi batas yang ditentukan. Berdasarkan kode referensi bandara terkait dengan pesawat yang memiliki lebar sayap terpendek atau kecepatan approach paling lambat. Ketika cakupan angin kurang dari 95%, *crosswind runway* yang disarankan.

Crosswind yang diizinkan adalah 10,5 kn (12 mil / jam) untuk Bandara Referensi Kode AI dan BI, 13 kn (15 mil / jam) untuk kode Bandara Referensi A-II dan B-II, 16 kn (18,5 mil / jam) untuk Kode Bandara Referensi A-III, B-III, CI, C-II, C-III dan C-IV, dan 20 knot (23 mph) untuk Bandara Referensi Kode A-IV melalui D-VI. (Horonjeff, 2010).

Setelah komponen crosswind maksimum yang diizinkan dipilih, arah yang paling diinginkan dari *runway* untuk cakupan angin dapat ditentukan oleh pemeriksaan karakteristik angin rata-rata di Bandara dengan kondisi sebagai berikut:

1. Seluruh cakupan angin terlepas dari visibilitas atau awan langit-langit
2. Kondisi angin saat langit-langit setidaknya 1.000 ft dan visibilitas setidaknya 3 mi
3. Kondisi angin saat langit-langit adalah antara 200 dan 1000 ft dan / atau visibilitas adalah antara ½ dan 3 mil.

Orientasi yang tepat dari landasan pacu atau *runway* di bandara dapat ditentukan melalui analisis vektor grafis menggunakan *wind rose*. *Wind rose* standar terdiri dari serangkaian lingkaran konsentris memotong oleh garis radial menggunakan koordinat polar kertas grafik. Garis radial ditarik ke skala besarnya angin sehingga daerah antara setiap pasangan garis berurutan berpusat pada arah angin. Bentuk dari *wind rose* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem koordinat dan template *wind rose*  
Sumber : Horonjeff, 2010

### 2.3.1.3 *Runway Gradient* (Kemiringan Landasan)

Kemiringan ini juga mempengaruhi panjang pendek landasan. Tanjakan landasan akan menyebabkan tuntutan panjang yang lebih jika dibandingkan apabila panjang landasan itu datar (rata). Landasan yang menurun juga mempengaruhi panjang *runway* dimana panjang *runway* akan menjadi lebih pendek (memperpendek panjang *runway* yang dituntut).

Hubungan kemiringan dan penambahan panjang mendekati linear, sebagai perbandingan panjang, maka :

- Untuk *runway* yang melayani jenis pesawat turbo jet maka tiap 1 % dari kemiringan akan menuntut 7 – 10 % penambahan panjang.
- Pada peraturan – peraturan penerbangan maka kemiringan yang dipakai pada umumnya kemiringan “ *average – uniform gradient* “ (kemiringan rata – rata yang sama), walaupun kemiringan tanah itu tidak sama (tidak uniform gradient).

Kemiringan (*slope*) memerlukan *runway* yang lebih panjang untuk setiap kemiringan 1%, maka panjang *runway* harus ditambah dengan 10%. Faktor koreksi kemiringan *runway* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_s = 1 + (0,1 S) \dots\dots\dots(2-1)$$

Dengan,

$F_s$  : Faktor koreksi kemiringan

$S$  : Kemiringan *runway* ( % )

### 2.3.1.4 Ketinggian Bandara dari Muka Air Laut

Bila Bandara letaknya semakin tinggi dari permukaan laut maka hawanya lebih tipis dari hawa laut (temperatur semakin kecil) sehingga pada landasan membutuhkan *runway* yang lebih panjang. Menurut *International Civil Aviation Organization (ICAO)* bahwa panjang *runway* bertambah sebesar 7% setiap kenaikan 300 m 1000 ft) dihitung dari ketinggian di atas permukaan laut. Maka rumusnya adalah:

$$F_e = 1 + 0,07 \frac{h}{300} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan,

$F_e$  : Faktor koreksi elevasi

$h$  : Elevasi di atas permukaan laut ( m )

### 2.3.1.5 Kondisi Permukaan Landas Pacu

Adanya genangan air akan menyebabkan *runway* lebih panjang karena pada waktu *take off* pesawat mengalami hambatan – hambatan kecepatan dengan adanya genangan air tersebut. Untuk kondisi permukaan *runway* hal sangat dihindari adalah adanya genangan tipis air (*standing water*) karena membahayakan operasi pesawat. Genangan air mengakibatkan permukaan yang sangat licin bagi roda pesawat yang membuat daya pengereman menjadi jelek dan yang paling berbahaya lagi adalah terhadap kemampuan kecepatan pesawat untuk lepas landas. Menurut hasil penelitian NASA dan FAA tinggi maksimum genangan air adalah 1,27 cm. Oleh karena itu drainase Bandara harus baik untuk membuang air permukaan secepat mungkin. Jadi panjang *runway* minimum dengan metoda ARFL dihitung dengan persamaan berikut:

$$ARFL = \frac{PL}{Fe \times Ft \times Fs} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dengan,

PL : Panjang *runway* actual

Ft : Faktor koreksi temperature

Fe : Faktor koreksi elevasi

Fs : Faktor koreksi kemiringan

## 2.4 Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Berdasarkan SNI 03-7112-2005 Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan adalah wilayah daratan dan/atau perairan dan ruang udara di sekitar bandar udara yang dipergunakan untuk kegiatan operasi penerbangan dalam rangka menjamin keselamatan penerbangan. Pada KKOP tidak dibenarkan adanya bangunan atau benda tumbuh, baik yang tetap maupun dapat berpindah yang lebih tinggi dari batas ketinggian yang diperkenankan sesuai dengan *Aerodrome Reference Code* dan *Runway Classification* dari suatu bandar udara.

### **2.4.1 Fungsi Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan**

Dari penjelasan dan definisi di atas, dapat diketahui fungsi dari KKOP, diantaranya:

1. Sebagai pengatur dan pengendali ketinggian dari suatu bangunan atau benda tumbuh yang diperkirakan dapat mengganggu keselamatan operasi penerbangan pesawat.serta
2. Sebagai pengatur dan pengendali tata guna lahan di sekitar bandar udara untuk penyusunan tata ruang suatu wilayah.

### **2.4.2 Batasan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan**

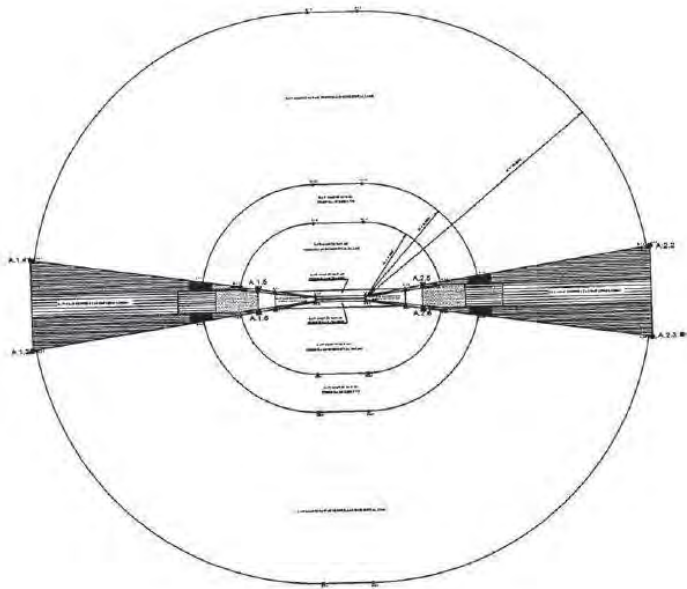
Dalam penetapan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan telah ditetapkan beberapa ketentuan batasan berdasarkan:

1. Kelas Bandar Udara
2. Landasan
3. Klasifikasi untuk lepas landas
4. Klasifikasi untuk pendekatan
5. Jenis pesawat yang beroperasi
6. Elevasi / ketinggian landasan terhadap permukaan laut

Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang Kawasan Keselamat Operasi Penerbangan, analisis kawasan operasi penerbangan adalah sebagai berikut :

1. Kawasan Pendekatan Lepas Landas (*Approach*)

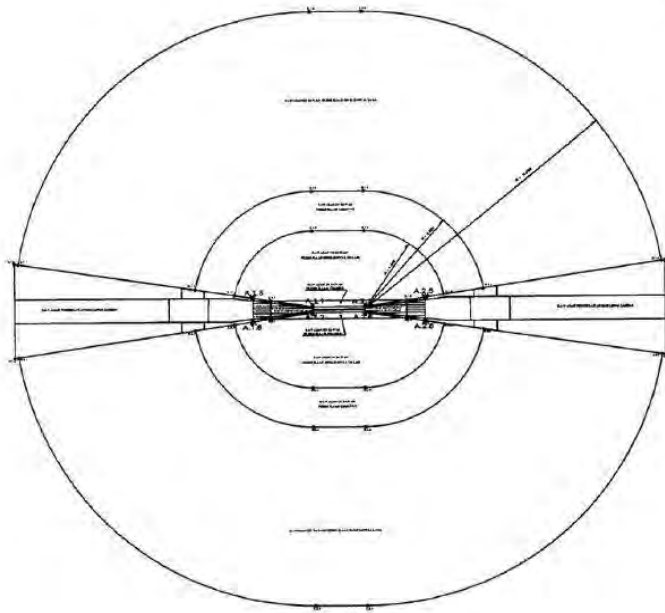
Kawasan ini dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama berjarak 60 meter dari ujung landasa pacu dengan lebar tertentu (sesuai klasifikasi landas pacu) pada bagian dalam, kawasan ini melebar ke arah luar secara teratur dengan sudut pelebaran 10% atau 15% (sesuai klasifikasi landas pacu) serta garis tengah bidangnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landas pacu dengan jarak mendatar tertentu dan akhir kawasan dengan lebar tertentu. Kawasan lepas landas dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kawasan pendekatan lepas landas  
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

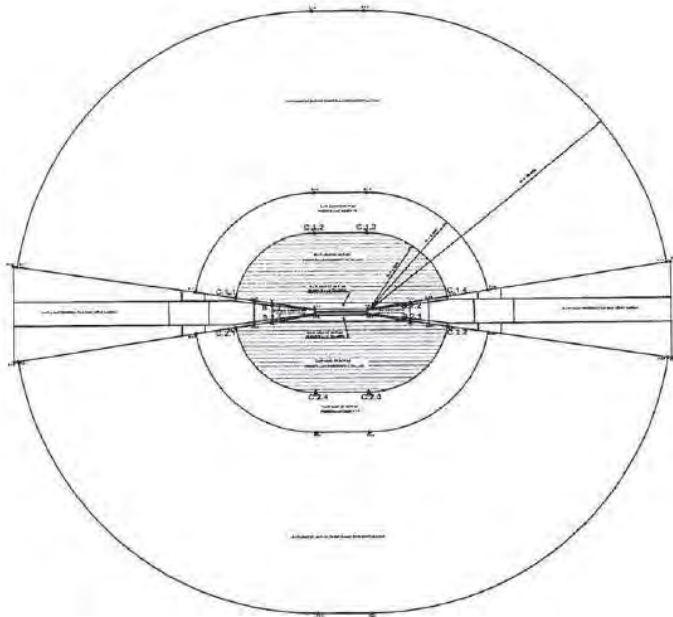
## 2. Kawasan Kemungkinan Bahaya Kecelakaan

Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama dengan lebar 60 meter atau 80 meter atau 150 meter atau 300 meter (sesuai klasifikasi landas pacu), kawasan ini meluas keluar secara teratur dengan garis tengahnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landasan pacu sampai 660 meter atau 680 meter atau 1150 meter atau 1200 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dan jarak mendatar 3000 meter dari ujung permukaan utama. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dicontohkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan  
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

3. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam  
Kawasan ini dibatasi oleh lingkaran dengan radius 2000 meter atau 2500 meter atau 3500 meter atau 4000 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam dicontohkan pada gambar 2.7.

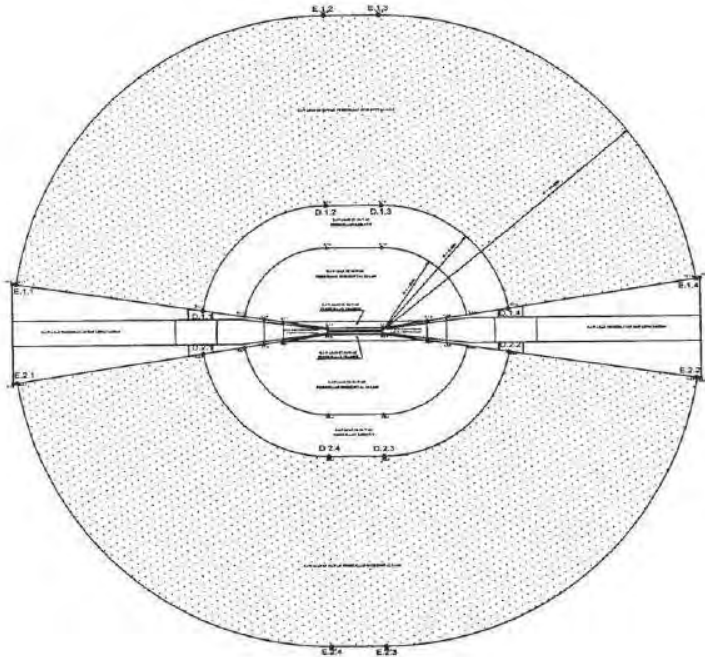


Gambar 2.7 Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam  
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

#### 4. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar

Kawasan ini dibatasi oleh lingkaran dengan radius 15000 meter dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi, kawasan di bawah permukaan horizontal dalam, kawasan di bawah permukaan kerucut. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar dicontohkan pada gambar 2.8.

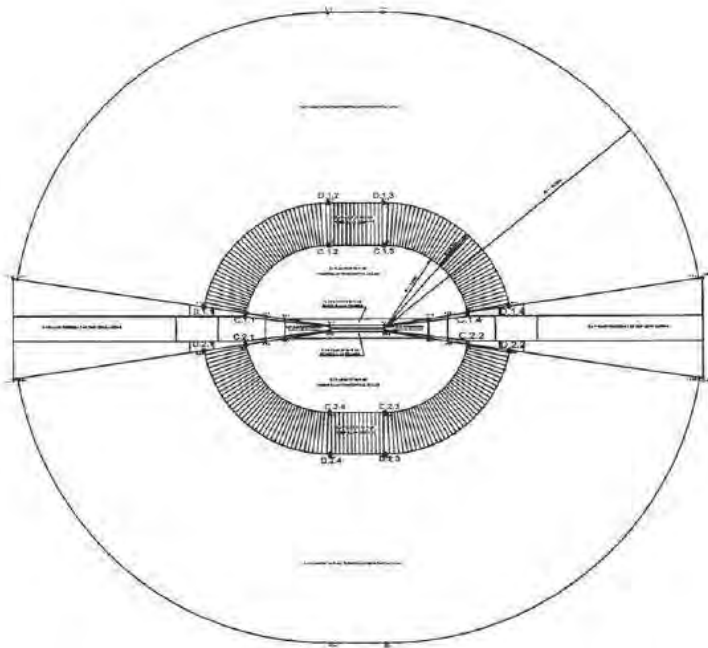




Gambar 2.8 Kawasan di bawah permukaan horizontal luar  
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

5. Kawasan di bawah permukaan kerucut

Kawasan ini dibatasi dari tepi luar kawasan di bawah permukaan horizontal dalam meluas dengan jarak mendatar 700 meter atau 1100 eter atau 1200 meter atau 1500 meter atau 2000 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dengan kemiringan 5% (sesuai klasifikasi landas pacu). Kawasan di bawah permukaan kerucut dicontohkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kawasan di bawah permukaan kerucut  
Sumber : SNI 03-7112- KKOP, 2005

#### 6. Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Kawasan ini diwujudkan/berada dalam sistem koordinat bandar udara (*Aerodrome Coordinate System/ACS*) dan sistem koordinat geografis dalam referensi *Word Geodetic System 1984 (WGS'84)*

Penetapan batas-batas ketinggian pada kawasan keselamatan operasi penerbangan bandar udara dan sekitarnya dilakukan dengan ketentuan teknis sebagai berikut:

1. Batas-batas ketinggian pada kawasan pendekatan dan lepas landas.

Batas-batas ini ditentukan oleh ketinggian terendah dari pertambahan (*superimpose*) permukaan pendekatan dan lepas

landas, permukaan horizontal dalam, permukaan kerucut dan permukaan horizontal luar pada kawasan operasi penerbangan.

2. Batas-batas ketinggian pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan

Batas-batas ini ditentukan oleh kemiringan 2% atau 2.5% atau 3.33% atau 4% atau 5% (sesuai klasifikasi landas pacu) arah ke atas dan ke luar dimulai dari ujung permukaan utama pada ketinggian masing-masing ambang landas pacu sampai dengan ketinggian  $(45 + H)$  meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah sepanjang jarak mendatar 3000 meter dari permukaan utama melalui perpanjangan garis tengah landas pacu.

3. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan horizontal dalam

Batas-batas ini ditentukan  $(45 + H)$  meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah.

4. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan horizontal luar

Batas-batas ini ditentukan  $(150 + H)$  meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah.

5. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan kerucut

Batas-batas ini ditentukan oleh kemiringan 5% arah ke atas dan keluar, dimulai dari tepi luar kawasan di bawah permukaan horizontal dalam pada ketinggian  $(45 + H)$  meter di atas elevasi ambang landas pacu terendah sampai ketinggian  $(80 + H)$  atau  $(100 + H)$  atau  $(105 + H)$  atau  $(120 + H)$  atau  $(145 + H)$  (sesuai klasifikasi landas pacu).

6. Batas-batas ketinggian pada kawasan di bawah permukaan transisi

Batas-batas ini ditentukan oleh kemiringan 14.3% atau 20% (sesuai klasifikasi landas pacu) arah keatas dan keluar, dimulai dari sisi panjang pada ketinggian yang sama seperti permukaan utama dan permukaan oendekatan menerus sampai memotong permukaan horizontal dalam pada ketinggian (45+H) meter diatas elevasi ambang landas pacu terendah.

Dalam menentukan angka-angka dalam batas-batas kawasan keselamatan operasi penerbangan, harus berdasarkan klasifikasi landas pacu dengan ketentuan seperti pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6 Tabel klasifikasi *runway*

OLS & Dimensions (in meters and percentages)	Runway Classification									
	Non – Instrument				Instrument					
	Code No.				Non-Precision			Precision		
	1*	2	3	4	1,5	3	4	I Code No	II- III Code No	
OUTER HORIZONTAL										
Height (m)									150	150
Radius (m)									15000	15000
CONICAL										
Slope	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Height (m)	35	55	75	100	60	75	100	60	100	100
INNER HORIZONTAL										
Height (m)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Radius (m)	2000	2500	4000	4000	3500	4000	4000	3500	4000	4000
APPROACH										
Length of inner edge (m)	60	80	159*	150	90	150	300*	150	300	300
Distance from threshold (m)	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Divergence each side	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
First section length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
Slope	5%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	3,33%	2%	2,5%	2%	2%
Second section length (m)	-	-	-	-	-	3600*	3600	12000	3600	3600
Slope	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%
Horizontal section length (m)	-	-	-	-	-	8400*	8400	-	8400	8400
Total length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	15000*	15000	15000	15000	15000
INNER APPROACH										
Width (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								60	60	60
Length (m)								900	900	900
Slope								2,5%	2%	2%
TRANSITIONAL										
Slope	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
INNER TRANSITIONAL										
Slope								40%	33,3%	33,3%
BAUL KED LANDING										
Length of inner edge (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								*	1800	1800
Divergence each side								10%	10%	10%
Slope								4%	3,3%	3,3%

Sumber : SKEP 77-VI-2005

### 2.4.3 Persyaratan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-7112 “Kawasan Keselamatan Operasi Pesawat” tahun 2005. Dalam pembuatan kawasan keselamatan operasi penerbangan di Bandar Udara dan sekitarnya diperlukan data sebagai berikut:

- Rencana induk Bandar udara atau rencana pengembangan Bandar udara.
- Rencana pengembangan wilayah dan pengembangan kota jangka panjang untuk lokasi yang bersangkutan.
- Rencana prosedur dan pengatur lalu lintas udara (*air traffic control*).
- Peta topografi.
- Titik kerangka dasar nasional.

### 2.5 Pemberian Lampu dan Pemasangan Lampu Halangan (*Obstacle Light*)

Pemberian tanda dan pemasangan lampu halangan diterapkan di sekitar daerah Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) Bandara Husein Sastranegara. Pemberian lampu bertujuan untuk mengurangi resiko pesawat terbang terganggu dengan adanya halangan baik bangunan maupun halangan alam seperti gunung. Berdasarkan SNI 03-7051-2004 dengan berdasarkan acuan normatif ICAO, *Annex 14 Volume I, Aerodrome Design and Operation*. Bangunan yang harus dineri tanda atau dipasang lampu adalah sebagai berikut,

1. Bangunan yang ketinggiannya melampaui permukaan horizontal dalam sampai jarak tertentu dari sisi panjang permukaan utama sesuai dengan kelas bandar udara yang bersangkutan.
2. Bangunan yang ketinggiannya melampaui permukaan transisi horizontal dalam sampai jarak tertentu dari sisi panjang permukaan utama sesuai dengan kelas bandar udara yang bersangkutan.

3. Bangunan yang ketinggiannya melampaui permukaan horizontal luar sampai jarak tertentu dari sisi panjang permukaan utama sesuai dengan kelas bandar udara yang bersangkutan.
4. Benda bergerak atau kendaraan yang berada sebagaimana dimaksud pada poin 1,2, dan 3.
5. Rentangan kawat Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang tergantung menyeberangi sungai, lembah atau jalan raya dan diduga dapat membahayakan keselamatan operasi penerbangan.
6. Bangunan yang berada di dalam kawasan keselamatan operasi penerbangan dandiduga dapat membahayakan keselamatan penerbangan.

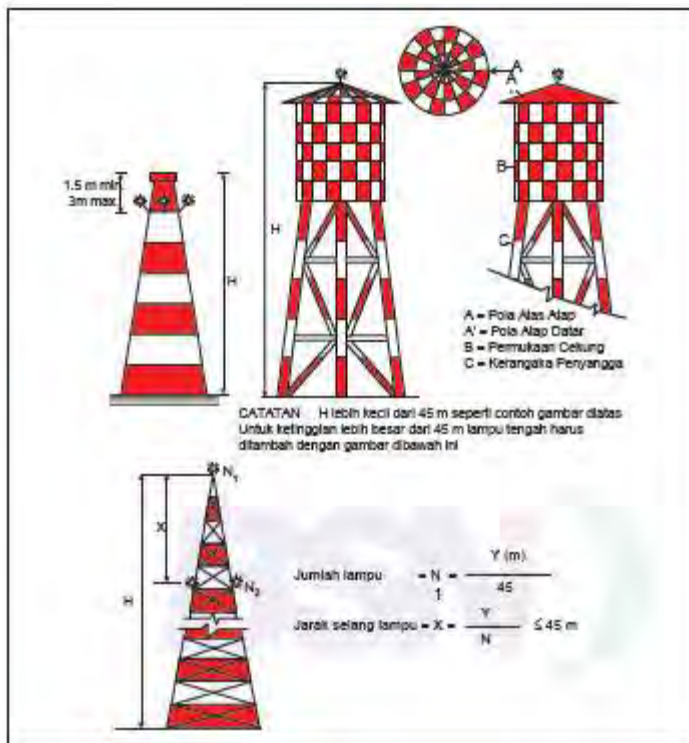
### **2.5.1 Warna Lampu Halangan**

Berdasarkan SNI 03-7051-2004 tentang Pemberian Tanda dan Pemasangan Lampu Halangan di Sekitar Bandara, perlu diperhatikan warna-warna lampu dan penggunaannya. Warna dan penggunaan lampu sebagai tanda adalah sebagai berikut:

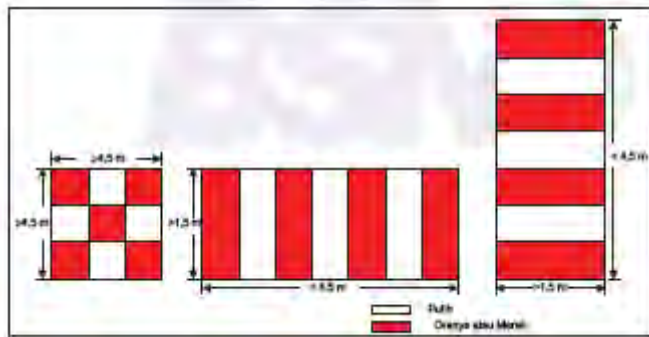
1. Bangunan yang mempunyai bidang horizontal dan bidang vertikal tidak terputus sekurang-kurangnya berukuran 4,5 m dan berbentuk pola selang-seling dengan sisi kotak minimal 1,5 m dan maksimal 3 m.
2. Bangunan yang mempunyai bidang horizontal lebih besar dari 1,5 m dan bidang vertikal kurang dari 4,5 m atau sebaliknya. Warna itu digunakan dengan pola selang-seling persegi panjang dan tegak lurus pada sisi terpanjang serta lebar kotak  $\frac{1}{7}$  (satu pertujuh) dari bidang terpanjang dengan ketentuan lebar maksimum 30 m.
3. Bangunan berbentuk kerangka dengan ukuran horizontal atau vertikal melebihi 1,5m. Warna itu digunakan dengan pola selang-seling persegi panjang dan tegak lurus pada sisi terpanjang serta lebar kotak  $\frac{1}{7}$  (satu per tujuh) dari bidang terpanjang dengan ketentuan lebar maksimum 30 m.

4. Bangunan yang mempunyai bidang horizontal atau bidang vertikal tidak lebih dari 1,5 m harus menggunakan satu warna, yaitu oranye atau merah, kecuali bila warna tersebut bercampur dengan warna sekelilingnya sehingga tampak tidak jelas. Tanda warna harus menggunakan warna lain yang mencolok.
5. Jika bangunan berupa benda bergerak, maka harus menggunakan warna kuning untuk pelayanan operasi dan warna merah untuk pelayanan darurat.

Pola dan penggunaan warna tersebut di atas dapat dilihat pada gambar Gambar 2.10 dan Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Pemberian marka dan pemasangan lampu pada bangunan



Gambar 2.11 Pola dasar marka

### 2.5.2 Jenis Lampu Halangan

Berdasarkan SNI 03-7051-2004 tentang Pemberian Tanda dan Pemasangan Lampu Halangan di Sekitar Bandara, perlu diperhatikan warna-warna lampu dan penggunaannya. Jenis lampu adalah sebagai berikut:

1. Jenis lampu I yaitu lampu yang mempunyai intensitas cahaya rendah, digunakan pada:
  - a. Bangunan tetap yang tingginya kurang dari 45 m dari permukaan tanah sekelilingnya, dengan warna merah menyala tetap dan besarnya intensitas cahaya minimal 10 cd (cahaya lilin)
  - b. Bangunan bergerak dengan gerakan terbatas (contoh aerobriges) menggunakan warna merah menyala tetap dan besarnya intensitas cahaya minimal 10 cd; dan
2. Bangunan bergerak untuk kendaraan Emergency atau security menggunakan warna biru atau kuning berkedip 60 sampai dengan 90 per menit dan besarnya intensitas cahaya sebesar 40 cd, sedangkan kendaraan Follow-Me menggunakan warna kuning berkedip 60 sampai dengan 90 per menit dan besarnya intensitas cahaya sebesar 200 cd.
3. Jenis lampu II yaitu lampu yang mempunyai intensitas cahaya sedang, menggunakan warna lampu merah berkedip 20 sampai dengan 60 per menit dengan intensitas cahaya 1600 cd yang dipasang pada:



- a. Bangunan yang tingginya lebih dari 45 m dari permukaan tanah sekelilingnya.
- b. Benda besar melebar yang tingginya kurang dari 45 m.
4. Jika jenis lampu II yaitu lampu yang mempunyai intensitas cahaya sedang, digunakan dengan dikombinasi jenis lampu III yaitu lampu yang mempunyai intensitas cahaya tinggi, maka warna yang digunakan adalah warna putih berkedip-kedip.
5. Jenis lampu III yaitu lampu yang mempunyai intensitas cahaya tinggi, digunakan baik pada siang maupun malam hari secara berkedip 40 sampai dengan 60 kedip per menit dengan warna putih yang dipasang pada:
  - a. Bangunan yang tingginya lebih dari 150 m dari permukaan tanah sekelilingnya.
  - b. Tiang konstruksi jaringan SUTT pada ketinggian puncak tiang, titik terendah bentangan kawat dan titik antara a dan b (lampu tengah).
  - c. Bangunan lain yang tidak mudah untuk memasang marka, maka perlu dipasang pada ketinggian puncak tiang, titik terendah bentangan kawat dan titik antara a dan b (lampu tengah).

Penggunaan besaran intensitas cahaya lampu dapat dilihat pada Tabel 2.7, Tabel 2.8, dan Tabel 2.9.

Tabel 2.7 Tanda jenis lampu I

No.	Uraian Pemasangan Lampu	Warna dan Nyala Lampu	Intensitas Cahaya	Jumlah Kedipan Per Menit
1	Pada bangunan	Merah menyala tetap	Tidak kurang dari 10 cd.	-
2	Bangunan bergerak terbatas	Merah menyala tetap	Tidak kurang dari 10 cd.	-
3	Pada benda bergerak			
	Keadaan <i>Emergency</i> atau <i>security</i>	Biru atau kuning berkedip-kedip	Tidak kurang dari 40 cd	60 – 90 kali
	Keadaan pemandu ( <i>Follow Me</i> )	Kuning berkedip-kedip	Tidak kurang dari 200 cd.	60 – 90 kali

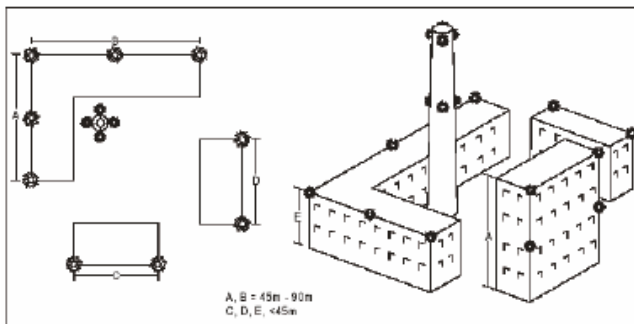
Tabel 2.8 Tanda jenis lampu II

No.	Uraian Pemasangan Lampu	Warna dan Nyala Lampu	Intensitas Cahaya	Jumlah Kedipan Per Menit
1	Pada benda bergerak	Merah berkedip – kedip, bila digunakan jenis lampu II.	Tidak kurang dari 1600 cd.	20 – 60 kali
		Putih berkedip – kedip bila digunakan secara kombinasi dengan jenis lampu III		

Tabel 2.9 Tanda jenis lampu III

No.	Uraian Pemasangan Lampu	Warna dan nyala lampu	Macam penggunaan		Daur nyala kedipan lampu	Waktu nyala per siklus daur nyala	Jumlah kedipan per
			Cahaya sekeliling	Intensitas Cahaya			
1	Pada bangunan	putih berkedip - kedip	di atas 500 cd/m <sup>2</sup>	minimal 200.000 cd	-	-	40 - 6-kali
			50 - 500 cd/m <sup>2</sup>	20.000 ± 25% cd			
			di bawah 50 cd/m <sup>2</sup>	20.000 ± 25% cd			
2	Pada tiang kawat saluran udara tegangan tinggi (SUTT)	putih berkedip - kedip	di atas 500 cd/m <sup>2</sup>	minimal 200.000 cd	-	-	40 - 6-kali
			50 - 500 cd/m <sup>2</sup>	20.000 ± 25% cd			
			di bawah 50 cd/m <sup>2</sup>	20.000 ± 25% cd			
3	Pada tiang penyangga kawat Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)	putih menyala berkedip - kedip bergantian dan berurutan	-	-	lampu tengah	1/3 detik	60 kali
					lampu atas	2/3 detik	
					lampu bawah	10/13 detik	

6. Pemasangan lampu pada bangunan harus ditempatkan pada puncaknya, kecuali apabila bangunan tersebut merupakan cerobong asap atau sejenisnya.
7. Apabila puncak bangunan mempunyai ketinggian lebih dari 45 m dari permukaan tanah sekelilingnya, maka antara lampu puncak dan permukaan tanah harus dipasang lampu dengan jarak yang seimbang. Jarak pemasangan lampu tidak lebih dari 45 m.
8. Apabila lampu yang digunakan pada 5.2.4 dan 5.2.5 di atas tidak tampak dari seluruh penjuru atau tertutup oleh bangunan lainnya, maka harus dipasang lampu lain yang tampak jelas dari segala penjuru.
9. Pemasangan lampu pada cerobong asap dapat ditempatkan 1,5 m sampai dengan 3 m di bawah puncak cerobong.
10. Apabila bangunan merupakan tiang yang menggunakan kawat labrang (kawat penyangga atau penahan tiang) yang tidak memungkinkan pemasangan jenis lampu III pada puncaknya, maka lampu ditempatkan pada titik yang memungkinkan dan pada puncaknya di pasang jenis lampu II berwarna putih.
11. Pemasangan lampu tersebut dapat dilihat pda gambar Gambar 2.11 di atas dan Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Pemasangan lampu pada bangunan

## 2.6 Peta Topografi

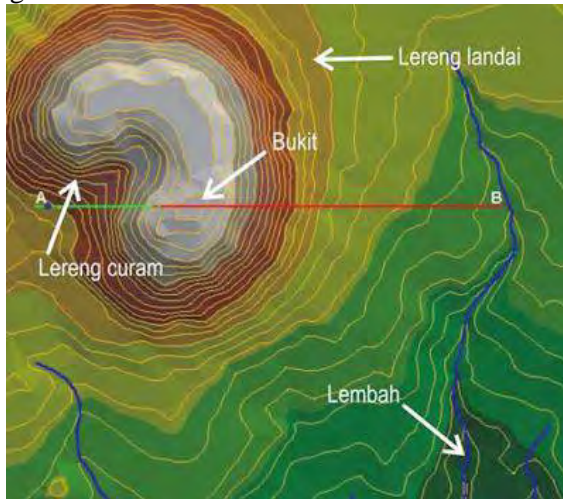
Topografi berasal dari bahasa yunani, *topos* yang berarti tempat dan *graphi* yang berarti menggambar. Peta topografi memetakan tempat-tempat dipermukaan bumi yang berketinggian sama dari permukaan laut menjadi bentuk garis-garis kontur, dengan satu garis kontur mewakili satu ketinggian. Peta topografi mengacu pada semua ciri-ciri permukaan bumi yang dapat diidentifikasi, apakah alamiah atau buatan, yang dapat ditentukan pada posisi tertentu. Oleh sebab itu, dua unsur utama topografi adalah ukuran relief (berdasarkan variasi elevasi axis) dan ukuran planimetrik (ukuran permukaan bidang datar). Peta topografi menyediakan data yang diperlukan tentang sudut kemiringan, elevasi, daerah aliran sungai, vegetasi secara umum dan pola urbanisasi. Peta topografi juga menggambarkan sebanyak mungkin ciri-ciri permukaan suatu kawasan tertentu dalam batas-batas skala.

Kontur adalah kontinyu (bersinambung). Se jauh mana pun kontur berada, tetap akan bertemu kembali di titik awalnya. Perkecualiannya adalah jika kontur masuk ke suatu daerah kemiringan yang curam atau nyaris vertikal, karena ketiadaan ruang untuk menyajikan kontur-kontur secara terpisah pada pandangan horisontal, maka lereng terjal tersebut digambarkan dengan simbol. Selanjutnya, kontur-kontur akan masuk dan keluar dari simbol tersebut.

Jika kontur-kontur pada bagian bawah lereng merapat, maka bentuk lereng disebut konveks(cembung), dan memberikan pandangan yang pendek. Jika sebaliknya, yaitu merenggang, maka disebut dengan konkav (cekung), dan memberikan pandangan yang panjang. Jika pada kontur-kontur yang berbentuk meander tetapi tidak terlalu rapat maka permukaan lapangannya merupakan daerah yang undulasi (bergelombang).

Kontur yang rapat dan tidak teratur menunjukkan lereng yang patah-patah. Kontur-kontur yang halus belokannya juga menunjukkan permukaan yang teratur (tidak patah-patah),

kecuali pada peta skala kecil pada umumnya penyajian kontur cenderung halus akibat adanya proses generalisasi yang dimaksudkan untuk menghilangkan detail-detil kecil (minor). Berbagai macam kenampakan kontur beserta profil permukaan lahan potongannya, dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14 sebagai berikut.



Gambar 2.13 Berbagai kenampakan kontur  
Sumber: Hertanto, 2011.



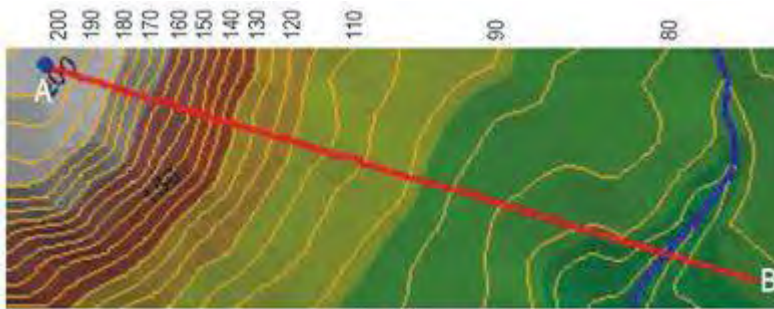
Gambar 2.14 Profil permukaan lahan dari potongan garis A-B  
Sumber: Hertanto, 2011.

### 2.6.1 Membuat Potongan Profil Topografi

Untuk membuat suatu potongan profil yang utuh antara dua titik A dan B pada peta berkontur, gambarkan sebuah garis

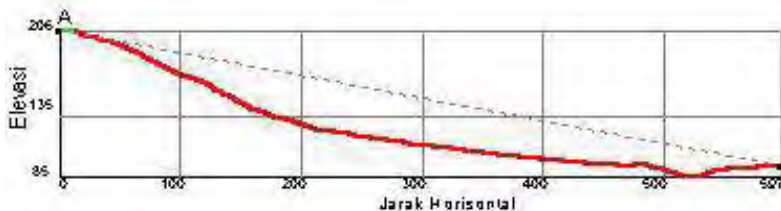
lurus pada peta antara titik-titik tersebut. Temukan kontur-kontur rendah dan tinggi yang terpotong oleh garis. Pada Gambar 2.15 kontur yang tertinggi adalah 200 meter, dan yang terendah adalah 80 meter.

Letakkan secarik kertas dengan tepi yang lurus sepanjang garis AB, dan tandai pada titik A dan titik B tersebut juga titik-titik di mana kontur-kontur memotong garis. Berilah label angka tinggi.



Gambar 2.15 Pemotongan garis kontur

Sumber: Hertanto, 2011.



Gambar 2.16 Potongan yang menunjukkan intervisibilitas

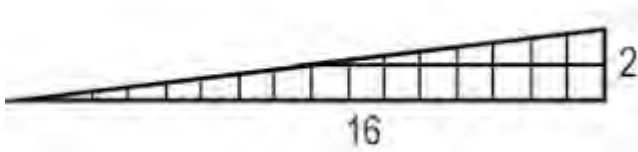
Sumber: Hertanto, 2011.

Dari masing-masing tanda turunkan garis tegak lurus pada kertas. Sejajar dengan pinggiran yang sudah ditandai gambar garis-garis paralel dengan skala yang sesuai untuk menunjukkan angka tinggi dari masing-masing kontur yang dipotong oleh garis AB, yaitu 80 sampai dengan 200 meter pada Gambar 2.13. Buat sebuah tanda pada setiap garis vertikal di mana itu memotong skala tinggi sejajar

sesuai dengan tingginya pada garis AB. Gabungkan tanda-tanda ini dengan suatu garis kurva yang halus, memungkinkan untuk membentuk lereng permukaan antara kontur-kontur di lembah dan di puncak bukit. Penggunaan kertas milimeter atau grid akan memudahkan penggambaran.

### 2.6.2 Menentukan Gradien Jalan Pada Peta

Kemiringan suatu lereng (slope) biasanya didefinisikan sebagai suatu gradient. Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah gradient 2 dalam 16, artinya 2 unit vertical untuk setiap 16 unit pada arah horizontal. Selama kedua unit tersebut sama pada kedua arah, maka tidak ada bedanya apapun satuan panjangnya (meter atau pun kaki). Gradien biasanya ditulis sebagai  $2/16$  dan diuraikan pada Gambar 2.17 sebagai berikut.



Gambar 2.17 Kemiringan lereng atau slope  
Sumber: Hertanto, 2011.

Kadangkala gradien dinyatakan dalam persentase. Untuk mengkonversinya adalah mengalikan perbandingan dengan bilangan 100%, yaitu  $2/16 \times 100\% = 1,25\%$

Untuk menentukan gradien suatu titik di jalan pada suatu peta, ukur jarak horizontal antara kontur-kontur yang berurutan pada peta dan nyatakan dalam unit yang sama seperti pada angka interval kontur. Misalnya, jika interval kontur 10 meter dan jarak yang diukur di peta antara dua kontur yang berurutan tersebut adalah 120 meter, maka gradien rata-ratanya antara dua kontur adalah  $10/120 = 1/12$  atau 1 dalam 12 atau 8,5%.

Untuk menentukan gradien yang paling terjal dari suatu jalan, temyan titik di mana dua kontur yang berurutan saling berdekatan kemudian ukurlah seperti prosedur di atas. Suatu gradien rata-rata dapat diukur dengan cara yang sama terhadap beberapa interval kontur, meskipun hal ini tidak banyak berarti kecuali ada kemiringan lereng yang konstan pada arah yang sama. Jika dibutuhkan untuk memeriksa bahwa gradien maksimum sepanjang suatu jalan tidak melebihi  $1/6$ , dan interval kontur adalah 10 meter, maka jarak antara kontur-kontur tadi tidak boleh kurang dari  $6 \times 10 = 60$  meter. Tandailah pada sepotong kertas suatu jarak 60 meter pada skala peta, interval kontur dapat diperiksa untuk melihat apakah jarak pada titik mana pun lebih pendek dari jarak yang ditentukan. Jika demikian halnya maka gradiennya lebih terjal dari  $1/6$ .

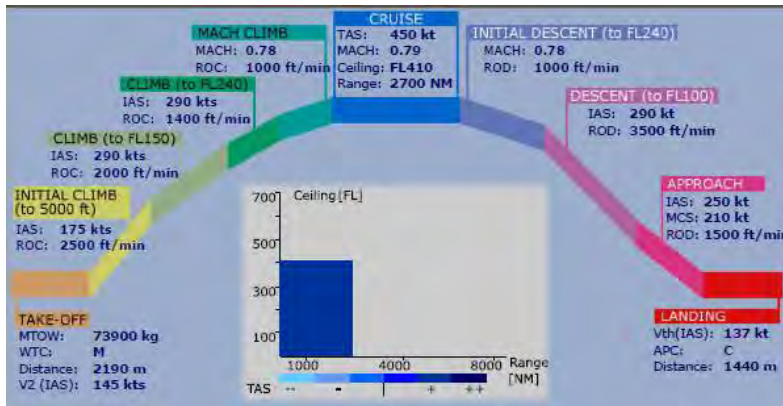
## 2.7 Pola Pergerakan Pesawat

Untuk mengetahui apakah pergerakan pesawat tidak terganggu dengan kondisi topografi wilayah Bandung, perlu diketahui pola pergerakan pesawat. Berbagai pola pergerakan pesawat secara runtut adalah sebagai berikut:

1. *Take off*
2. *Lift off*
3. *Initial Climb*
4. *Climb*
5. *Mach Climb*
6. *Cruise*
7. *Initial Descent*
8. *Descent*
9. *Approach*
10. *Landing*

Pola pergerakan yang telah disebutkan pada poin satu sampai sepuluh tersebut masing-masing akan berbeda tergantung pada jenis pesawat. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 2.18.





Gambar 2.18 Contoh pola pergerakan pesawat

Sumber : [www.contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance](http://www.contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance)

Pada Gambar 2.18 adalah pola pergerakan pesawat tipe Airbus 320. Dalam gambar tersebut ditunjukkan kecepatan pesawat dan panjang *take off* yang diperlukan (untuk proses *take off*). Jarak lepas landas (*take off distance*) merupakan jarak horizontal yang diperlukan untuk lepas landas dengan mesin tidak bekerja tetapi pesawat telah mencapai ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas permukaan landasan atau, 115% dari jarak horizontal yang diperlukan untuk lepas landas dengan mesin-mesin masih bekerja, pesawat telah mencapai ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas permukaan lepas landas, dari dua keadaan mana yang lebih besar.

Pada saat *take off*, pesawat mempunyai kecepatan awal untuk mendaki (V<sub>2</sub>) yaitu kecepatan minimum, pilot diperkenankan untuk mendaki sesudah pesawat mencapai ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas permukaan landas pacu. Pada sepanjang jarak lepas landas, pesawat mengalami *lift off* yaitu saat badan pesawat mulai terangkat dari landasan. Pada *take off distance* terdiri dari TOR (*take off run*) yaitu jarak dari awal *take off* ke suatu titik, dimana dicapai V<sub>lof</sub> (*Lift Off Speed*), ditambah dengan setengah jarak, pesawat mencapai ketinggian 10,5 M (35

Ft) dari  $V_{lof}$ , pada keadaan mesin pesawat tidak bekerja (*In Operative*). Dapat dirumuskan sebagai berikut. (Swatton, 2008)

$$TOR(m) = TOD(m) - TOD(m) \times \left( \frac{10.7 m}{\tan(\text{angle of attack})} \right) \dots\dots(2-4)$$

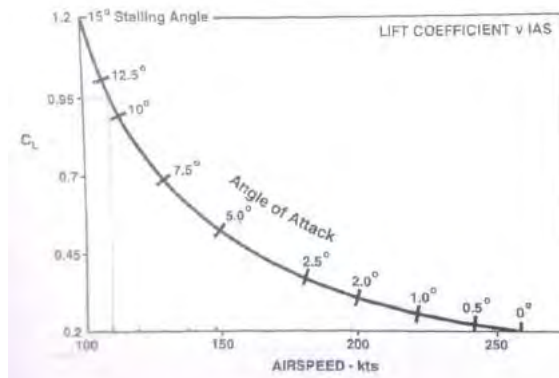
Atau

$$TOR(m) = TOD(m) - TOD(m) \times \frac{10.7 m}{\text{Climb gradient}(\%)} \dots\dots\dots(2-5)$$

*Climb gradient* adalah perbandingan perubahan tinggi terhadap jarak horizontal yang ditempuh pesawat. *Climb gradient* dapat didapatkan dari rumus berikut. (Swatton, 2008)

$$\text{Climb Gradient}(\%) = \frac{(\text{Total thrust} - \text{total drag}) \text{ kg}}{\text{mass kg}} \times 100 \dots\dots(2-6)$$

Sedangkan *angle of attack* dapat didapatkan dari grafik Gambar 2.19 berikut. Dari data kecepatan pesawat ( $V_2$ ), ditarik garis ke atas, maka akan di dapatkan *angle of attack* dan juga *coefficient lift*. *Angle of Attack* merupakan sudut angkat terhadap horizontal, yang dihasilkan pesawat saat *lift off*.



Gambar 2.19 Grafik *Angle of Attack*  
(Swatton, 2008)

*Thrust* adalah gaya dorong ke depan yang ditimbulkan oleh mesin pesawat. *Thrust* dapat didapatkan pada manual masing-masing jenis pesawat. *Drag* adalah gaya yang berlawanan dengan arah pesawat bergerak. *Drag* dapat disebut juga sebagai resistance pada pergerakan ke depan suatu pesawat. *Drag* dapat didapatkan pada rumus berikut. (Swatton, 2008)

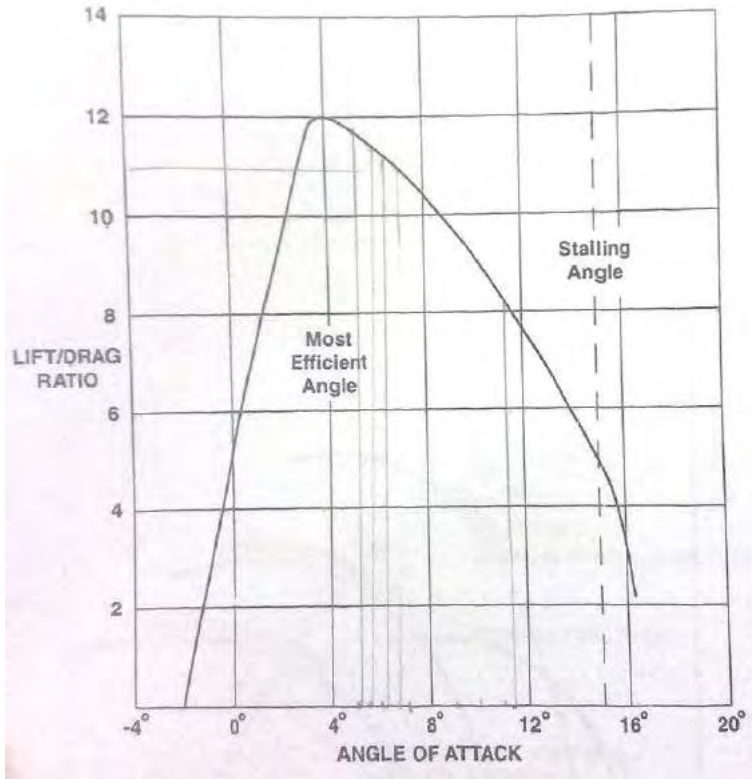
$$Total\ drag\ (kg) = \frac{mass\ (kg)}{\frac{lift}{drag}ratio} \dots\dots\dots(2-7)$$

*Lift/drag ratio* dapat didapatkan dari grafik hubungan antara angle of attack dengan *lift/drag ratio* sebagai berikut pada Gambar 2.20. Dengan cara menarik garis ke atas, dari *angle of attack* yang di ketahui dari Gambar 2.19 hingga mencapai garis *most efficient angle* dan kemudian ditarik ke arah *lift/drag ratio*, maka akan di dapatkan nilai *lift/drag ratio*.

Setelah mengalami *take off*, dalam Gambar 2.18 menunjukkan kecepatan IAS (*Indicated Air Speed*) dan ROC (*Rate of Climb*) pesawat untuk melakukan *initial climb*(penerbangan awal) hingga mencapai 5000 ft. *Rate of Climb* adalah perubahan tinggi terhadap periode waktu. Nilai ROC ini dipengaruhi oleh tinggi altitude pesawat, tinggi temperatur, tinggi masa dan tinggi kemampuan sayap pesawat (*flap*). Nilai ROC dapat diketahui dari rumus berikut. (Swatton, 2008)

$$ROC\ (fpm) = \frac{(Thrust- Drag)kg}{Mass\ kg} \times TAS\ (fpm) \dots\dots\dots(2-8)$$

Pada ketinggian 5000ft hingga FL150 (15000ft) dan pada ketinggian 15000ft menuju 24000 ft, pesawat memasuki pola pergerakan yang disebut climb dengan ROC dan IAS yang berbeda. Setelah melewati pola climb, pesawat memasuki pola pergerakan yang disebut *Mach Climb*. Pada pola ini pesawat hamper menuju kondisi seimbang.



Gambar 2.20 Grafik hubungan antara angle of attack dengan *lift/drag ratio*

Sumber : Swatton, 2008

Pada Gambar 2.20 menunjukkan pola *Mach Climb* mempunyai *Mach* = 0,78 yang berarti TAS sebenarnya dibagi dengan TAS kecepatan suara pada ketinggian tertentu dan nilai ROC. Kondisi pesawat saat stabil dan kecepatan pesawat sebanding dengan masa pesawat, kecepatan menjelajah berkurang selama progress terbang menuju ketinggian optimum sering. Kondisi tersebut disebut dengan *Cruise Climb*. Pada pola

pergerakan ini ditunjukkan TAS, Mach, dan jarak terbang hingga 2700nm dengan ketinggian optimum 41000ft.

Pola pergerakan cruise menuju landing, pesawat melewati beberapa tahapan yaitu initial descent yaitu awal turunnya pesawat menuju FL240 dengan diketahui kecepatan mach dan ROD (*Rate of Descent*). Kemudian mengalami *Descent* atau turun menuju FL100 (10000ft) dengan diketahui IAS dan ROD. Sebelum landing, pesawat mengalami pergerakan yang disebut approach yaitu dari ketinggian FL100 hingga pesawat *landing* (menyentuh *runway*) pada tahapan ini diketahui IAS, ROD, dan MSC dan pola terakhir yaitu landing dengan ditunjukkan jarak *landing* dan kecepatan IAS.

## **2.8 Variasi Berat Pesawat**

Dalam satu jenis pesawat, terdapat variasi berat pesawat yang harus diketahui. Variasi berat dan berat pesawat sendiri perlu diketahui untuk membuat pesawat efisien dan aman dalam operasional penerbangannya. Desain manufaktur pesawat dibatasi dengan beratnya. Maximum berat operasional dapat dibatasi oleh *runway* keberangkatan dan kedatangan suatu bandar udara.

### **2.8.1 Aircraft Gross Weight**

Berat kotor pesawat adalah total berat pesawat dalam berbagai momen selama terbang maupun beroperasi diatas tanah. Aircraft gross weight akan berkurang selama penerbangan disebabkan oleh konsumsi bahan bakar pesawat. Aircraft gross weight juga dapat berbeda disebabkan oleh penurunan payload atau perubahan bahan bakar.

### **2.8.2 Manufacturer's Empty Weight (MEW)**

*Manufacturer's empty weight* adalah berat pesawat yang berhubungan dengan pesawat itu sendiri dan segala manufaktur yang mendukung seperti struktur pesawat, sistem generasi energy (termasuk mesin) dll. MEW tidak termasuk beberapa hal berikut:

1. Bahan bakar

2. Minyak, dan air sementara
3. Payload (Cargo, Penumpang, dan bagasi)
4. Alat-alat yang bisa dilepas
5. Instalasi khusus

### 2.8.3 *Operation Empty Weight (OEW)*

Berat bersih manufaktur ditambah dengan barang operator adalah yang disebut dengan berat bersih operasional (OEW). OEW dapat di ilustrasikan dalam rumus berikut. (IVAO, 2015)

$$\text{MEW} + \text{Operator's item} = \text{OEW} \dots\dots\dots(2-9)$$

Barikut ini adalah yang disebut dengan barang operator antara lain

- Cairan yang digunakan untuk operasi pesawat
- Air yang digunakan untuk dapur dan kamar kecil
- Dokumentasi pesawat
- Kursi penumpang dan pelampung
- Stuktur dapur
- Peralatan darurat
- Crew pesawat dan barang bawaannya
- Barang standard penting untuk memenuhi kebutuhan operasional.

### 2.8.4 *Actual Zero Fuel Weight (AZFW)*

*Actual zero fuel weight* adalah berat pesawat kosong ditimbang dengan payload. Payload terdiri dari berat penumpang, berat barang bawaan penumpang dan cargo. Lebih jelasnya dapat dirumuskan sebagai berikut. (IVAO, 2015)

$$\text{OEW} + \text{Payload} = \text{AZFW} \dots\dots\dots(2-10)$$

$$\text{Cargo} + \text{Penumpang dan barang bawaan} = \text{Payload} \dots\dots\dots(2-11)$$

Asumsi berat berbeda-beda tergantung jumlah kursi yang disediakan pada pesawat. Biasanya, asumsinya sebagai berikut.

- Berat penumpang laki-laki (termasuk barang bawaan) diasumsikan 82kg (181 lbs.)
- Berat penumpang perempuan diasumsikan 67kg (148 lbs.)
- Berat anak kecil diasumsikan 50kg (110lbs.)
- Berat bayi diasumsikan 16kg (3lbs.)

Untuk mendapatkan berat sesungguhnya, dapat diketahui pada saat penumpang melakukan *check in*.

### 2.8.5 *Actual Gross Weight (AGW)*

*Actual gross weight* adalah jumlah dari penambahan *actual zero weight* dengan bahan bakar yang dibutuhkan pesawat untuk melakukan penerbangan, dapat dirumuskan sebagai berikut. (IVAO, 2015)

$$AZFW + \text{Total bahan bakar} = AGW \dots\dots\dots(2-12)$$

Dalam perhitungan tersebut, diperlukan menghitung total bahan bakar yang diperlukan untuk terbang. Untuk mengkonversikan liter ke dalam kilogram perlu diketahui masa jenis bahan bakar.

### 2.8.6 *Take off Weight*

Berat kotor suatu pesawat berbeda-beda. Konsumsi bahan bakar minyak dapat mengurangi berat kotor. Dalam berbagai tujuan penerbangan, dalam perjalanannya, semakin banyak bahan bakar yang akan digunakan, maka payload akan berkurang. *Take off weight* dapat dirumuskan sebagai berikut. (IVAO, 2015)

$$AGW - \text{Taxi-out fuel} = \text{Take-off weight} \dots\dots\dots(2-13)$$

### 2.8.7 *Maximum Design Takeoff Weight (MTDOW)*

Desain berat lepas landas maksimum ini sering disebut dengan *maximum brake-release weight* yaitu berat maksimum pada saat *memulai take off*.

### 2.8.8 *Landing Weight*

Berat pendaratan adalah berat yang berpengaruh kepada performa pendaratan suatu pesawat. Landing weight dapat di rumuskan sebagai berikut. (IVAO, 2015)

$$\text{Take-off weight} - \text{Trip Fuel} = \text{Actual Landing Weight} \dots \dots (2-14)$$

$$\text{AZFW} + \text{Reserve Fuel} = \text{Actual Landing Weight} \dots \dots (2-15)$$

Dalam perhitungannya dicontohkan pada Tabel 2.10 berikut

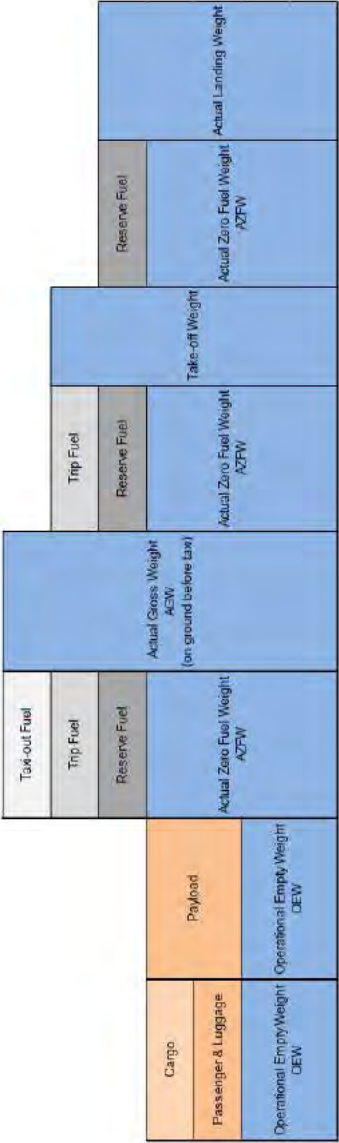
Tabel 2.10 Contoh perhitungan berat operasional

Manufacturer's Empty Weight (MEW)	36,779 kg
+ Operator's Items	+ 5,205 kg
= Operational Empty Weight (OEW)	= 41,981 kg
+ Payload	+ 13,529 kg
= Actual Zero Fuel Weight (AZFW)	= 55,510 kg
+ Fuel	+ 13,239 kg
= Actual Gross Weight (AGW)	= 68,749 kg
- Taxi Fuel	- 100 kg
= Actual Take-Off Weight (ATOW)	= 68,649 kg
- Fuel consumption	-10,900 kg
= Actual Landing Weight (ALW)	= 57,749 kg

Sumber : (IVAO, 2015)

Dari beberapa variasi berat pesawat tersebut, dapat disimpulkan dan digambarkan dalam grafik Gambar 2.21.





Gambar 2.21 Grafik Berat Operasional Pesawat

Sumber: (IVAO, 2015)

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Umum**

Pada evaluasi ketersediaan ruang udara dalam kaitannya dengan keselamatan operasional di Bandara Husein Sastranegara ini diperlukan banyak hal yang harus ditinjau. Maka untuk mempermudah langkah-langkah penyusunan tugas akhir ini dibuat metodologi yang bertujuan untuk mengarahkan dan mengefektifkan waktu serta hasil yang ingin dicapai. Tujuan utama yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah mengetahui batasan jarak penerbangan dan batasan kapasitas pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara

### **3.2 Tahap Pengerjaan**

Tahapan pengerjaan yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahap antara lain adalah:

1. Persiapan
2. Identifikasi masalah
3. Studi Literatur
4. Pengumpulan data sekunder
5. Analisis Data
6. Hasil pengerjaan

#### **3.2.1 Tahap Persiapan**

Tahap persiapan merupakan tahap awal sebelum munculnya sebuah ide. Persiapan yang dilakukan berupa survey pada Bandara Husein Sastranegara Bandung. Dengan pengamatan dan pengambilan gambar mencari permasalahan yang ada di Bandara Husein Sastranegara.

Berikut adalah gambar – gambar pengamatan bandara Husein Sastranegara Bandung pada siang hari di terminal pada Gambar 3.1 kondisi terminal bandara Husein Sastranegara dan pada Gambar 3.2 menggambarkan kondisi apron yang padat.



Gambar 3.1 Kondisi terminal Bandara Husein Sastranegara



Gambar 3.2 Kondisi Apron Bandara Husein Sastranegara

### 3.2.2 Tahap Identifikasi Permasalahan

Tahap Identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam mengerjakan Tugas akhir. Identifikasi masalah merupakan proses penentuan *gap analysis*, dimana pada *gap analysis* ini terdapat *current state* dan *ideal state*.

- *Current state* :

Pesawat terbesar yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara adalah Airbus A320 dengan jarak pelayanan penerbangan terjauh adalah Bandara Husein Sastranegara – Bandara Internasional Kualanamu.

- *Ideal state* :

Adanya studi atau evaluasi lebih lanjut yang meninjau jenis pesawat yang beroperasi, ruang gerak pesawat, dan kawasan operasi penerbangan untuk adanya kesesuaian ruang udara terhadap jenis pesawat dan kawasan operasionalnya.

### 3.2.3 Tahap Studi Literatur

Tahap studi pustaka yang dilakukan yaitu pengumpulan berbagai teori yang mendukung dan berkaitan dengan kondisi serta permasalahan yang ada. Literatur yang digunakan disesuaikan dengan keadaan kebutuhan jalan pada masa mendatang.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, diperlukan beberapa referensi untuk membantu dalam mencapai tujuan penulisan. Adapun berikut ini merupakan beberapa referensi yang akan menjadi acuan dan untuk lebih lengkapnya akan diulas pada bab II dalam laporan tugas akhir ini.

- SNI 03-7112-2005
- Federal Aviation Administration (FAA) – Advisory Circular No 150/5325-4B, Runway Length Requirements for Airport Design. 2005
- Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara SKEP/48/III/2001
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2001

- The Convention on International Civil Aviation Annex 14.2004

### 3.2.4 Tahap Pengumpulan Data Sekunder

Data yang dibutuhkan untuk pengerjaan Tugas Akhir ini terdiri dari data sekunder. Data sekunder pada pengerjaan tugas akhir ini diperoleh dari PT (Persero) Angkasa Pura II, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Bandung, dan Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakorsutanasal). Data yang diperoleh berupa dokumen yang meliputi layout apron bandara, pergerakan pesawat 2011 - 2015, peta topografi Kota Bandung, data temperature 2011 – 2015, data angin 2011-2015, data tekanan udara 2011 – 2015, data curah hujan 2011-2015, data kelembaban 2011-2015.

#### 3.2.4.1 Data Pergerakan Pesawat

Data pergerakan pesawat dibutuhkan untuk mengetahui pesawat beroperasi, mengetahui jarak tempuh pesawat yang beroperasi serta jenis – jenis pesawat yang beroperasi untuk mengevaluasi dan mengklasifikasikan pesawat yang beroperasi berdasarkan batas ruang gerak terhadap kawasan keselamatan operasional penerbangan. Rekapitan pergerakan pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara tanggal 8 Januari 2015 pada Tabel 3.1 untuk keberangkatan dan Tabel 3.2 untuk kedatangan serta dilengkapi pada lampiran.

Tabel 3.1 Rekapitan keberangkatan pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara tanggal 8 Januari 2015.

DOMESTIK									
BERANGKAT									
NO	FLT NBR	TIPE PESAWAT	TO	PAX			JUMLAH	BAGASI	CARGO
				ADL	CHD	INF			
1	QZ 7912	A320	DPS	159	17	2	178	1061	590
2	JT 918	737-800	SUB	166	1	3	170	806	0
3	XN 739	737-300	PDG				0		
4	QZ 7581	A320	PKU	154	15	7	176	1649	3297
5	IW 1904	ATR 42/72	SOC	59	1	2	62	161	0
6	QG 926	A320	MES	141	8	2	151	1419	1036
7	KD 934	ATR 72	SRG	55	0	1	56	227	0
8	JT 911		MES	174	9	5	188	2089	0

Tabel 3.1 Lanjutan

8	JT 911		MES	174	9	5	188	2089	0
9	JT 904		DPS	173	6	3	182	1520	0
10	QZ 7632	A320	SUB	116	6	3	125	679	1097
11	XN 740	737-300	PLM	102	7	7	116	1161	0
12	JT 951	737-800	BTH	187	2	10	199	1910	876
13	JT 960	B737-800	DPS	176	8	0	184	1684	0
14	GA 334	737-800	DPS	114	18	4	136	1240	1090
15	GA 361	737-800	SUB	132	13	4	149	1269	1684
16	QZ 7583	A320	PKU				0		
17	IW 1812	ATR 42/72	JOG	62	3	1	66	290	0
18	XN 861	737-300	PNK	123	3	8	134	6307	1331
19	QG 889	A320	DPS	158	14	4	176	1302	348
20	JT 940	737-800	BDJ	182	5	6	193	2107	544
21	JT 950	737-800	SUB	133	2	1	136	773	0
22	JT 902	737-800	DPS	141	4	3	148	1541	0
23	JT 961	737-800	MES	126	3	5	134	1319	129
24	QZ 7910	737-800	DPS				0		
25	IW 1896	ATR 42/72	SRG	43	0	1	44	182	0
26	QZ 7634	A320	SUB				0		
27	QZ 7916	A320	DPS				0		
28	GA 373	737-800	SUB				0		
29	JT 942	737-800	BPN	163	7	6	176	8602	1836
30	JT 912	737-800	MES	52	3	0	55	594	0
31	XN 744	737-300	TKG	20	0	0	20	69	0
32	JT 882	737-800	UPG	173	15	8	196	1882	378
33	JT 754	737-800	JOG	93	3	2	98	743	0
34	ID 6654		PLM				0		
35	ID 6655		DPS				0		
36	QG 897	A320	LOP	173	1	4	178	1630	325
37	QG 924	A320	MES	118	6	7	131	1414	91
38							0		
39							0		
40							0		
<b>TOTAL TOTAL</b>				3668	180	109	3957	45630	14652
<b>INTERNASIONAL</b>									
<b>BERANGKAT</b>									
NO	FLT NBR	JENIS PESAWAT	TO	PAX			JUMLAH	BAGASI	CARGO
				ADL	CHD	INF			
1	QZ 174		KUL				0		
2	QZ 365	A320	SIN	113	7	4	124	548	154
3	AK 417	A320	KUL	114	1	2	117	901	0
4	MI 195/191		SIN				0		
5	QZ 173	A320	KUL	118	7	2	127	1251	191
6	AK 1029	A320	JHB	132	5	2	139	884	0
7	QZ 361	A320	SIN	103	7	3	113	754	0
8	QZ 177	A320	KUL	110	7	6	123	1249	6
9	QZ 367	A320	SIN	57	0	1	58	266	0
10	OD 301	737-800	KUL	99	1	2	102	1053	0
11							0		
12							0		
13							0		
14							0		
15							0		
<b>TOTAL</b>				846	35	22	903	6906	351

Tabel 3.2 Rekapitan kedatangan pesawat yang beroperasi di  
Bandara Husein Sastranegara tanggal 8 Januari 2015.

DOMESTIK								
DATANG								
NO	FLT NBR	FROM	PAX			JUMLAH	BAGASI	CARGO
			ADL	CHD	INF			
1	QZ 7913	DPS	119	32	5	156	1758	1
2	JT 911	SUB	181	4	3	188	1678	300
3	XN 738	PDG				0		
4	QZ 7582	PKU	169	10	3	182	1738	0
5	IW 1905	SOC	69	0	1	70	304	0
6	QG 927	MES	162	18	4	184	2377	2377
7	KD 933	SRG	50	0	0	50	134	0
8	JT 902	MES	186	3	2	191	2161	119
9	JT 905	DPS	116	3	0	119	1082	0
10	QZ 7631	SUB	150	15	5	170	1359	55
11	XN 741	PLM	121	0	2	123	829	637
12	JT 950	BTH	176	3	5	184	2187	37
13	JT 960	MES	183	4	3	190	1892	302
14	GA 335	DPS	108	4	1	113	1159	22
15	GA 360	SUB	141	4	2	147	1103	612
16	QZ 7584	PKU				0		
17	IW 1811	JOG	71	0	2	73	355	0
18	XN 860	PNK	125	1	1	127	1582	208
19	QG 888	DPS	120	1	1	122	1015	315
20	JT 945	BDJ	186	1	2	189	1039	254
21	JT 951	SUB	183	2	4	189	1104	0
22	JT 903	DPS	69	2	0	71	512	0
23	JT 961	DPS	130	2	2	134	1303	0
24	QZ 7911	DPS				0		
25	IW 1897	SRG	71	0	0	71	274	0
26	QZ 7633	SUB				0		
27	QZ 7917	DPS				0		
28	GA 372	SUB				0		
29	JT 941	BPN	142	4	8	154	1500	0
30	JT 913	MES	175	4	1	180	1991	64
31	XN 747	TKG	26	0	1	27	231	0
32	JT 883	UPG	182	1	0	183	244	0
33	JT 755	JOG	118	5	0	123	794	0
34	ID 6655	PLM				0		
35	ID 6654	DPS				0		
36	QG 896	LOP	168	10	3	181	1812	227
37	QG 925	MES	170	8	2	180	1958	420
38						0		
39						0		
40						0		
<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>		3867	141	63	4071	35475	5950

Tabel 3.2 Lanjutan

INTERNASIONAL								
DATANG								
NO	FLT NBR	TO	PAX			JUMLAH	BAGASI	CARGO
			ADL	CHD	INF			
1	QZ 175	KUL				0		
2	QZ 366	SIN	138	9	3	150	1248	0
3	AK 416	KUL	110	0	5	115	551	0
4	MI 196/192	SIN				0		
5	QZ 172	KUL	97	4	4	105	815	0
6	AK 1028	JHB	97	9	1	107	515	0
7	QZ 362	SIN	80	3	1	84	523	0
8	QZ 176	KUL	114	3	3	120	740	0
9	QZ 368	SIN	77	2	2	81	956	0
10	OD 302	KUL	116	2	2	120	1194	0
11						0		
12						0		
13						0		
14						0		
15						0		
<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>		829	32	21	882	6542	0

Sumber : Angkasa Pura II, 2015

### 3.2.4.2 Pola Pergerakan Pesawat

Diperlukan adanya data pola pergerakan masing-masing pesawat yang dapat beroperasi di Bandara Husein Sastranegar. Data yang dibutuhkan yaitu *take off*, *lift off*, *climb out*, *cruise*, *descent*, *approach*, dan *landing*. Data tersebut dapat diketahui dari jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara. Berikut ini merupakan data jenis pesawat yang *departure* dari Bandara Husein Sastranegara pada tanggal 16 Januari 2016 berdasarkan data pantauan [flightstats.com](http://flightstats.com).

- Boeing 737 – 800
- Boeing 737 – 900
- Boeing 737 – 300
- Boeing 737 – 500
- Farchild Dornier 328 – 100
- Airbus A320
- ATR 42
- ATR 72

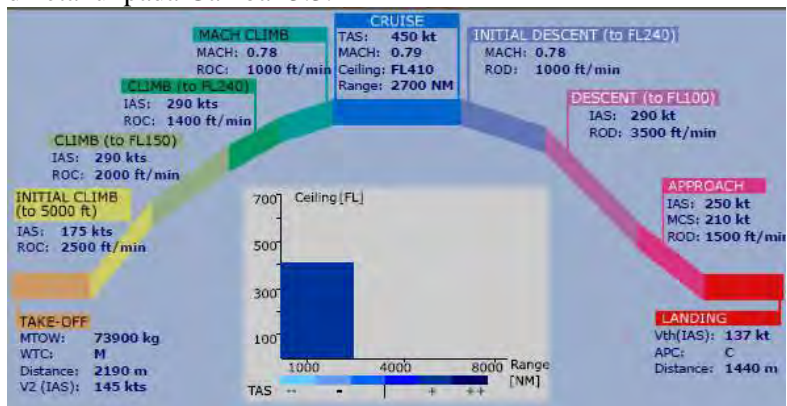


Dengan data karakteristik sebagai berikut pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Karakteristik pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara.

Aircraft	FAA Code	MTOW (lbs)	Approach Speed (knot)	Wingspan (ft)	Tail Height (ft)	ARC	Number of passenger
Boeing 737-800	B738	174,200	141	112.58	41.17	4C	162
Boeing 737-900	B739	164,000	144	112.07	41.02	4C	177
Boeing 737-500	B735	136,000	140	94.75	36.58	4C	149
Boeing 737-300	B733	139,500	135	94.75	36.58	4C	128
Farchild Dornier 328- 100	D28D	34,524	74	51.00	12.80	3B	30
Airbus A320	A320	162,040	138	111.30	38.90	4C	164
ATR 42	AT42	35,605	105	80.42	24.92	3B	48
ATR 72	AT72	44,070	105	88.75	25.01	3B	70

Pola pergerakan pesawat dapat diketahui dan digambarkan secara detail berdasarkan performance data masing-masing jenis pesawat (URL : <http://www.skybrary.aero/index.php/B738>) atau pada flash pada masing-masing pesawat. Gambar flash dapat diketahui pada Gambar 3.3.



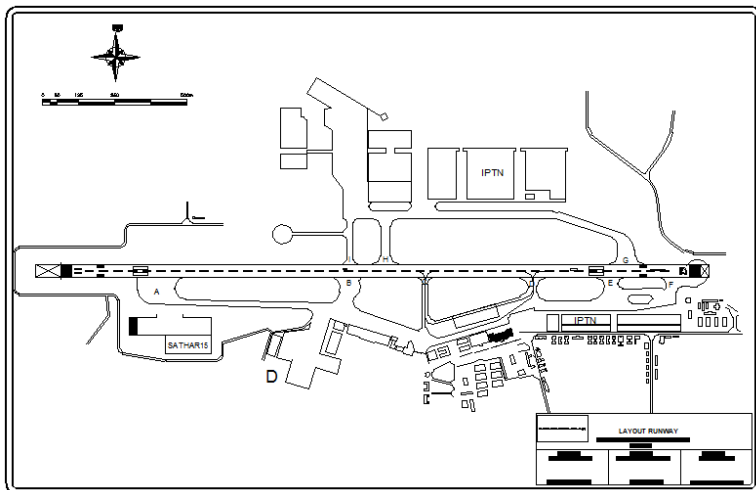
Gambar 3.3 Pola pergerakan pesawat Airbus 320

Sumber:

URL: <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx>.

### 3.2.4.3 Layout Lapangan Terbang

Data layout lapangan terbang merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam tugas akhir ini khususnya detail layout dan geometri sisi udara. Penentuan jenis pesawat yang dapat beroperasi pada suatu bandar udara disesuaikan dengan geometri runway. Selain itu, Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan suatu bandara dapat digambarkan berdasarkan geometri runway. Gambar layout Bandara Husein Sastranegara dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Layout Bandara Husein Sastranegara

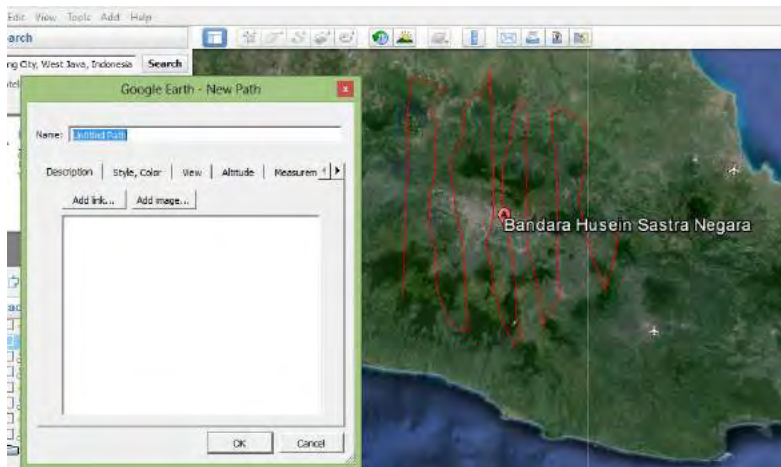
Sumber: Angkasa Pura II, 2015

### 3.2.4.4 Peta Topografi Kawasan Sekitar Bandara (Jawa Tengah)

Peta topografi kota Bandung digunakan untuk mengetahui elevasi dasar permukaan tanah Kota Bandung. Peta topografi merupakan syarat utama untuk menentukan keselamatan operasional. Kawasan keselamatan operasi penerbangan yang

sudah dibuat berdasarkan panjang *runway* akan di evaluasi kesesuaiannya terhadap peta topografi. Jika tidak ada elevasi KKOP yang bertabrakan dengan elevasi topografi, dan pergerakan masing-masing pesawat masih memenuhi jarak ketinggian yang diizinkan terhadap elevasi topografi, maka tidak ada masalah pada keselamatan operasional Bandara Husein Sastranegara. Peta topografi dalam bentuk kontur yang dapat diakses dari google earth dan kemudian menggunakan aplikasi TCX dan Quickgrid. Metode untuk mendapatkan kontur topografi adalah sebagai berikut.

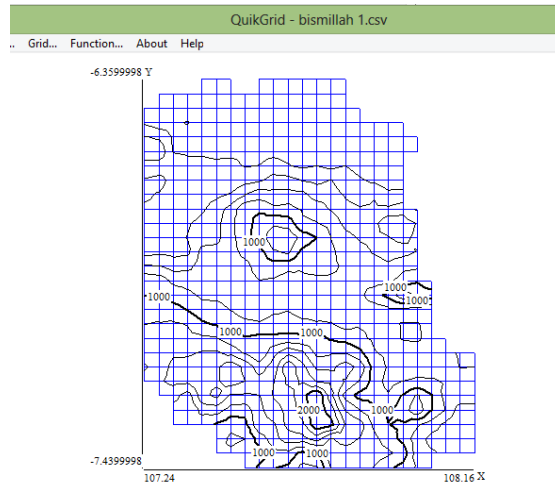
1. Buatlah path (klik path pada google earth) dengan poin sebanyak banyaknya pada luasan yang akan dijadikan kontur, seperti pada Gambar 3.5.



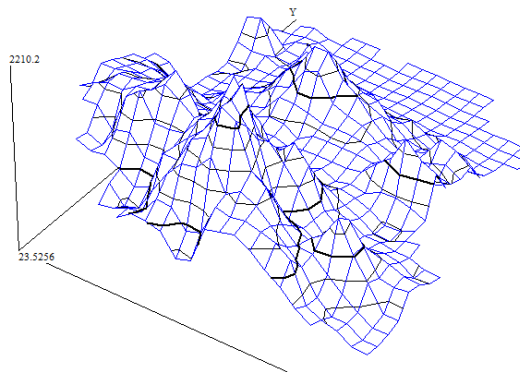
Gambar 3.5 Contoh membuat path pada google earth

2. Simpan *path* dengan format KML.
3. Dowload dan install TCX Converter.
4. Buka TCX, kemudian buka file kml, update altitude, dan kemudian ekspor file ke dalam format .CSV.
5. Buka file CSV dengan excel dan melakukan modifikasi pada excel kemudian simpan.

6. Download Quickgrid dan install.
7. Buka file CSV dengan QuikGrid, QuikGrid akan menampilkan kontur 2D seperti pada Gambar 3.6 dan 3D pada Gambar 3.7 dan kemudian buka menggunakan autocad.




Gambar 3.6 Penampilan kontur 2D pada quikgrid



Gambar 3.7 Penampilan kontur 3D pada quikgrid

### 3.2.4.5 Data Klimatologi

Data klimatologi yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini adalah data temperatur yang diambil dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Kota Bandung. Data temperature digunakan dalam perhitungan evaluasi panjang runway.

 <b>BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA</b> <b>STASIUN GEOFISIKA KLAS I BANDUNG</b> JL. CEMARA NO. 66 BANDUNG TELP. 022-2031881, FAX. 022-2036212, Alamat Email : stageof.bandung@bmkg.go.id					
<b>DATA TEMPERATUR RATA-RATA (oC)</b>					
Lintang	: 06° 53' 00,92750" S		<b>STASIUN GEOFISIKA BANDUNG</b>		
Bujur	: 107° 35' 50,52075" E				
DPL	: 791,679 meter				
BULAN	2011	2012	2013	2014	2015
JAN	23.3	23.4	23.4	22.5	23.2
FEB	23.5	23.5	23.4	22.9	23.1
MAR	23.5	23.7	23.8	23.3	23.4
APR	23.4	23.5	23.7	23.7	23.6
MEI	23.6	23.2	23.5	23.5	23.4
JUN	23.3	23.3	23.6	23.5	23.1
JUL	22.8	22.6	22.5	23.0	23.1
AGST	23.0	23.2	23.2	23.1	23.6
SEPT	23.4	24.0	23.7	23.7	23.8
OKT	24.1	24.2	23.7	24.2	24.5
NOV	22.9	23.3	23.8	23.6	23.9
DES	24.0	23.3	23.1	23.7	
<b>JUMLAH</b>	<b>280.8</b>	<b>281.2</b>	<b>281</b>	<b>280.7</b>	<b>258.7</b>
<b>MAX.</b>					
<b>RATA<sup>2</sup></b>	<b>23.4</b>	<b>23.4</b>	<b>23.5</b>	<b>23.4</b>	<b>23.5</b>

Gambar 3.8 Data Temperatur

Sumber : BMKG Kota Bandung, 2015

Dari tabel dapat diketahui bahwa temperature rata-rata pada Bandara Husein Sastranegara adalah 23,4 °C.

### **3.2.5 Tahap Analisis Data**

Data yang diperoleh selanjutnya akan dianalisis menggunakan teori yang sudah ditentukan dalam tinjauan pustaka. Hasil dari analisis data ini nantinya akan menentukan kesesuaian pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) di Bandara Husein Sastranegara.

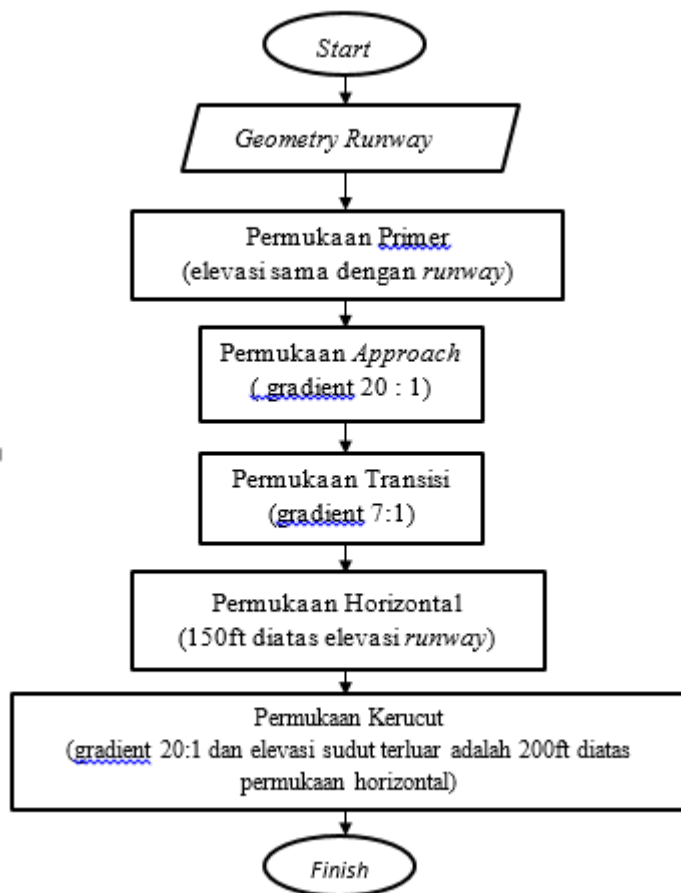
#### **3.2.5.1 Tahap Analisis Runway**

Dalam melakukan evaluasi, perlu adanya analisis existing. Analisis yang dibutuhkan dalam evaluasi ketersediaan ruang udara dalam kaitannya dengan keselamatan operasional dibutuhkan analisis panjang runway. Analisis panjang runway dipengaruhi oleh temperature bandar udara. Data temperature yang didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Selain itu, faktor koreksi kemiringan dan faktor koreksi elevasi runway dari permukaan air laut juga diperlukan dalam melakukan analisis panjang runway.

#### **3.2.5.2 Tahap Penentuan KKOP**

Data yang diperoleh selanjutnya akan dianalisis menggunakan teori yang sudah ditentukan dalam tinjauan pustaka. Hasil dari analisis kondisi eksisting ini akan menghasilkan batasan operasional penerbangan berdasarkan analisis KKOP dan batasan kapasitas pesawat yang dapat beroperasi di Bandara Husein Sastranegara. Titik-titik utama yang didata berupa titik referensi sistem koordinat bandar udara, titik referensi sistem ketinggian (AES dan MSL), beda tinggi antara kedua ujunglandasan untuk digunakan dalam penentuan batas kawasan dan ketinggian pada KKOP sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan oleh *ICAO Aerodromes Annex 14, Aerodromes Design And Operation dan Airport Services Manual (ICAO) Part 6, Control of Obstacles, Doc 9137-AN/898, Second Edition, 1998.*

Metode dalam menentukan Kawasan Keselamatan Operasional Penerbangan (KKOP) berdasarkan *ICAO Aerodromes Annex 14, Aerodromes Design And Operation* dan *Airport Service* dapat dapat diketahui pada Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Diagram alir penentuan KKOP

Adapun kawasan keselamatan operasi penerbangan di bandar udara dan sekitarnya dapat ditentukan batas –batas operasi teknis sebagai berikut:

- a. Batas ketinggian dan kawasan pendekatan dan lepas landas.
- b. Batas ketinggian dan kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan
- c. Batas ketinggian dan kawasan di bawah permukaan horizontal dalam
- d. Batas ketinggian dan kawasan di bawah permukaan kerucut
- e. Batas ketinggian dan kawasan di bawah permukaan transisi
- f. Batas ketinggian dan kawasan di bawah permukaan horizontal luar

### 3.2.5.3 Analisis Kesesuaian Topografi

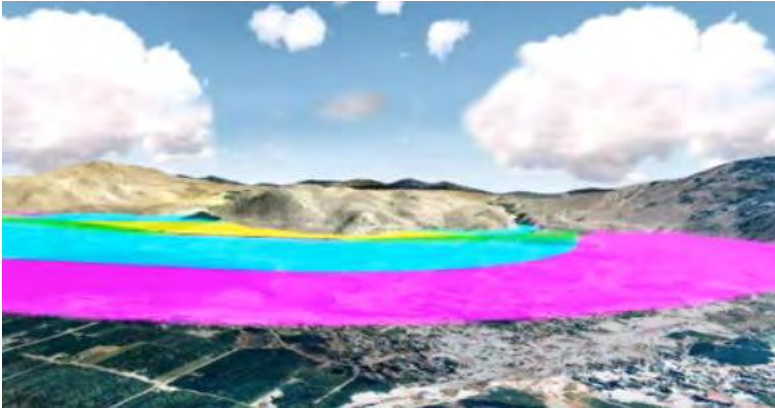
Dalam tahap ini, data peta topografi yang didapatkan diterjemahan kedalam potongan memanjang dan melintang. Kemudian di koreksikan pada potongan memanjang dan melintan KKOP yang telah ditentukan sebelumnya. Penyesuaian peta topografi dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11 sebagai berikut.



Gambar 3.10 Penyesuaian KKOP dengan Peta Topografi (1)

Sumber : youtube.com

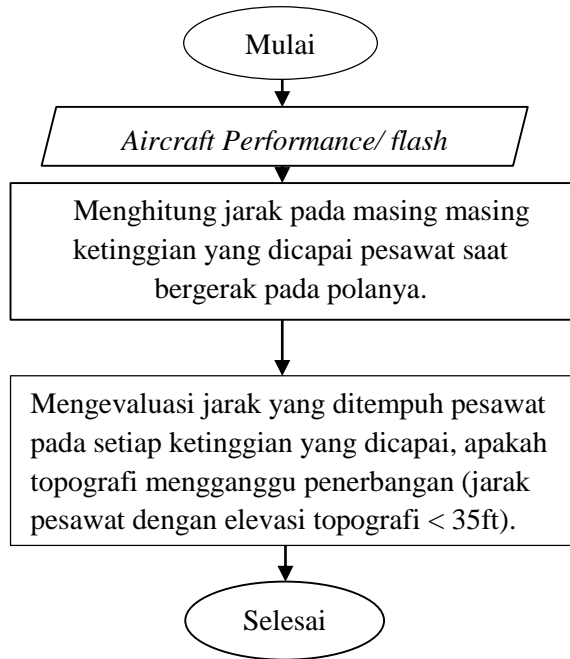




Gambar 3.11 Penyesuaian KKOP dengan Peta Topografi (2)  
Sumber : youtube.com

#### 3.2.5.4 Analisis Karakteristik Masing-masing Pesawat yang Beroperasi

Dalam tahapan ini, masing-masing pesawat yang beroperasi di analisis karakteristiknya dan diketahui masing masing pola pergerakan pesawat. Pola pergerakan pesawat meliputi *take off - lift off - climb out - cruise - descend - approach - landing*. Metode analisis dalam tahapan ini adalah dalam diagram alir pada Gambar 3.12 berikut. Dalam perthitungan jarak masing-masing pola pergerakan pada ketinggian tertentu, ada beberapa data yang tidak diketahui dalam flash seperti jarak lift off, maka perlu menghitung jarak lift off berdasarkan pada jarak take off dan gradient penerbangan atau derajat sudut penerbangannya. Perhitungan gradien penerbangan diperlukan data thurst sebuah pesawat. Sehingga, perlu diketahui jenis-jenis mesin pada masing-masing pesawat.



Gambar 3.12 Diagram alir evaluasi pola pergerakan pesawat

### 3.2.5.5 Tahap Analisis Keselamatan Operasional

Tahapan ini adalah mengevaluasi pergerakan masing-masing pesawat yang didapat dari tahapan 3.2.5.3 dengan kasawasan keselamatan operasi penerbangan. Dari kawasan keselamatan operasi penerbangan yang didapatkan dan batas-batas ketinggian serta batas kawasannya dari potongan memanjang dan melintang KKOP, dapat di evaluasi apakah elevasi pola pergerakan pesawat masih memenuhi jarak yang diizinkan dengan topografi daerah KKOP sekitar Bandara Husein Sastranegara. Berdasarkan FAR *part 25 Airworthiness Standards: Transport Category*, Jarak lepas landas (*take off distance*) merupakan jarak horizontal yang diperlukan untuk lepas landas dengan mesin tidak bekerja tetapi pesawat telah mencapai ketinggian 10,5 M (35 Ft) di atas

permukaan landasan. Sehingga jarak ijin minimum antara elevasi topografi dan elevasi pesawat saat beroperasi adalah 35ft (10,5 m). Uraian diatas dapat diperjelas dengan pada Gambar 3.13 sebagai berikut:



Gambar 3.13 Pesawat yang masih memiliki jarak ijin terhadap topografi

Jika semua pesawat tidak melebihi batas keselamatan operasional maka, akan dikaji lagi pesawat-pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara, apakah memungkinkan mempunyai destinasi yang jaraknya lebih jauh. Jika memungkinkan, dapat ditambah destinasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara. Namun, jika ada beberapa pesawat yang melebihi batas keselamatan operasional, maka dapat dikaji apakah pesawat yang beroperasi tersebut menggunakan bahan bakar tidak full sehingga dapat mengurangi beban pesawat tersebut, kemudian dapat diketahui jarak tempuh maximal masing-masing pesawat beserta kapasitas pesawat tersebut.

### 3.2.6 Hasil Analisis

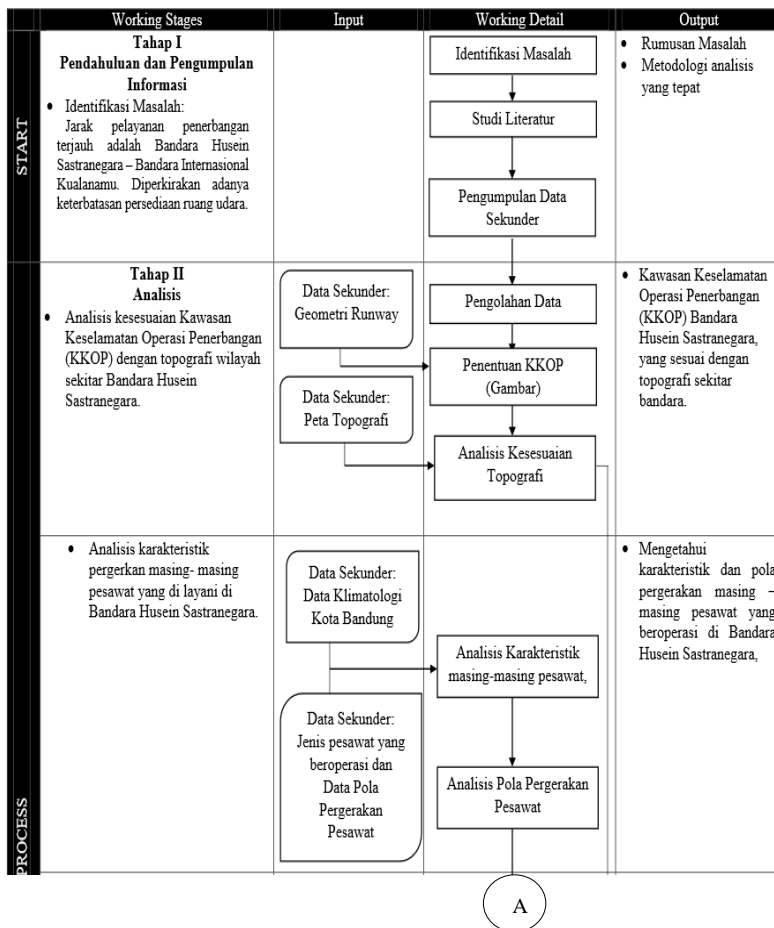
Setelah mengolah data-data yang ada maka akan didapat hasil dari perencanaan yang terdiri dari:

1. Kawasan Keselamatan Operasional Bandara Husein Sastranegara (Gambar Memanjang dan Melintang KKOP)
2. Karakteristik pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara
3. Batasan Kapasitas Pesawat yang dapat beroperasi

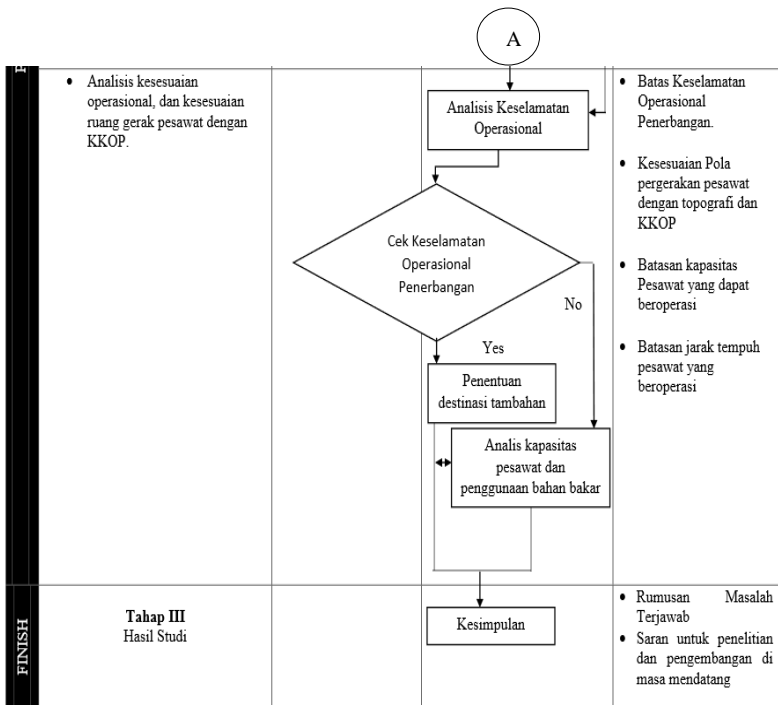
#### 4. Batasan Jarak tempuh pesawat yang beroperasi

### 3.3 Diagram Alir Metodologi

Adapun diagram alir metode Tugas Akhir ini dapat di lihat pada gambar 3.14 berikut. Diagram diperjelas dalam lampiran.



Gambar 3.14 Diagram Alir Metode Tugas Akhir



Gambar 3.14 Diagram Alir Metode Tugas Akhir (Lanjutan)

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Umum**

Setelah semua data yang dibutuhkan untuk evaluasi ketersediaan ruang udara dalam kaitannya dengan keselamatan operasional di Bandara Husein Sastranegara ini telah terkumpul, terdapat 3 analisis yang akan dilakukan. Ketiga analisis tersebut adalah sebagai berikut:

- Analisis panjang *runway*.
- Analisis kesesuaian Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan topografi wilayah sekitar bandara Husein Sastranegara.
- Analisis karakteristik pergerakan masing-masing pesawat yang dilayani di Bandara Husein Sastranegara.
- Analisis kesesuaian pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan topografi di Bandara Husein Sastranegara.
- Analisis berat pesawat terhadap ruang udara.

#### **4.2 Analisis Panjang *Runway***

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian panjang *runway* dengan jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara. Panjang *runway* harus diketahui untuk menentukan kawasan keselamatan operasi penerbangan.

##### **4.2.1 Evaluasi Panjang *Runway***

Dalam evaluasi *runway*, perlu diketahui karakteristik pesawat yang beroperasi pada *runway* dan karakteristik *runway*. Jenis dan karakteristik pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara adalah sebagai berikut pada Tabel 4.1. Dari Tabel 4.1 tersebut dapat diketahui bahwa pesawat terbesar yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara adalah Boeing 737-800.

Tabel 4.1 Jenis dan karakteristik pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara

Aircraft	FAA Code	MTOW (lbs)	Approach Speed (knot)	Wingspan (ft)	Tail Height (ft)	ARC	Number of passenger
Boeing 737-800	B738	174,200	141	112.58	41.17	4C	162
Boeing 737-900	B739	164,000	144	112.07	41.02	4C	177
Boeing 737-500	B735	136,000	140	94.75	36.58	4C	149
Boeing 737-300	B733	139,500	135	94.75	36.58	4C	128
Farchild Dornier 328- 100	D28D	8,855	74	51.00	12.80	3B	30
Airbus A320	A320	162,040	138	111.30	38.90	4C	164
ATR 42	AT45	35,605	105	80.42	24.92	3B	48
ATR 72	AT72	44,070	105	88.75	25.01	3B	70

Sumber :Annex 14, ICAO

Berdasarkan data pergerakan pesawat tahunan Bandara Husein Sastranegara, pesawat kritis yang beroperasi pada *runway* Bandara Husein Sastranegara adalah Boeing 737-800. Karakteristik Boeing 737-800 adalah sebagai berikut pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Karakteristik pesawat kritis

Karakteristik Pesawat	
Modul Pesawat	Boeing 737-800
Panjang (m)	39.5 m
Lebar Sayap (m)	34.32 m
OMGWS (Outer Main Gear Wheel Span ) (m)	6.4 m
MTOW (Maximum <i>Take-Off Weight</i> ) (kg)	79016 kg
ARFL ( <i>Aerodrome Reference Field Length</i> ) (m)	2256 m
TP ( <i>Tyre Pressure</i> ) (kPa)	1400 kpa
Kapasitas Penumpang	162
ARC ( <i>Aerodrome Reference Code</i> )	4C

Sedangkan data karakteristik landasan pacu Bandara Husein Sastranegara adalah pada tabel berikut Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Karakteristik Landas Pacu Pesawat

Karakteristik Runway	
Arah Runway	11/29
Panjang Runway (m)	2200
Elevasi Runway (m)	11 = 745.5
	19 = 733.0
Suhu Rata-rata °C	23.4
Slope Runway %	1.6%

Guna mengetahui panjang *runway* aktual yang dibutuhkan pesawat yang beroperasi di Bandar Husein Sastranegara, perlu beberapa koreksi terhadap faktor elevasi, temperatur, dan slope (kelandaian) *runway*. Untuk menghitung faktor koreksi, terlebih dahulu harus mencari ARFL. ARFL adalah panjang landasan minimum bagi pesawat untuk take off pada keadaan standar, yaitu pada kondisi MTOW, ketinggian nol terhadap permukaan air laut, kondisi atmosfer standar, keadaan tanpa angin, dan kemiringan *runway* nol. Nilai ARFL didapat dari pabrik pembuat pesawat bersangkutan. Adapun ARFL pesawat B 747-800 adalah 2256 m.

Perhitungan koreksi terhadap *runway* berdasarkan ARFL dan data karakteristik *runway* adalah sebagai berikut:

- Koreksi terhadap Elevasi (KE)

$$KE = \left[ \frac{ARFL * 7\% * \frac{elevasi\ runway}{300}}{\frac{300}{300}} \right] + ARFL$$

$$KE = \left[ \frac{2256 * 7\% * \frac{745.5}{300}}{\frac{300}{300}} \right] + 2256 = 2648.43 \text{ m}$$

- Koreksi terhadap Elevasi Temperature (KET)

$$KET = [KE * (temperatur - (15 - 0,0065h))] * 1\% + KE$$

$$KET = [2648.43 * (23.4 - (15 - 0,0065 * 745.5))] * 1\% + 2648.43$$

$$= 2999.35 \text{ m}$$



- Koreksi terhadap Elevasi, Temperatur dan Slope (KETS)

$$\text{KETS} = [\text{KET} * \text{slope} * 10\%] + \text{KET}$$

$$\text{KETS} = [2999.35 * 1.6\% * 10\%] + 2999.35 = 3004.15 \text{ m} = 3005 \text{ m}$$

Dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan kemudahan pengerjaan maka panjang *runway* aktual, atau yang juga dikenal sebagai TORA (*Take-off Run Available*) adalah **3005m**. Panjang *runway* eksisting di Bandara Husein Sastranegara saat ini adalah 2200 m, sehingga perlu dilakukan penambahan panjang *runway* sebesar 805 m agar pesawat yang mempunyai ARFL 2257 dapat menggunakan *runway*.

#### 4.2.2 Evaluasi Lebar *Runway*

Pada desain *upgrading* Bandara Husein Sastranegara, pesawat kritis yang digunakan adalah jenis pesawat Boeing 747-800 dengan karakteristik yang tertera pada Tabel 4.2 ARC pesawat kritis adalah 4C. Dari Tabel 4.4 dapat diketahui lebar *runway* adalah 45 m.

Tabel 4.4 Lebar *runway* berdasarkan *code number*

Code Number	Code letter					
	A	B	C	D	E	F
1a	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60

Sumber :SKEP 77-VI-2005

Catatan :

- 1a. Lebar *runway* dapat dikurangi hingga 15 m atau 10 m tergantung dari luas yang dibatasi pada pesawat jenis kecil/ small aeroplane.
2. Pengoperasian yang diijinkan untuk pesawat landing atau take off dimana lebar *runway* harus lebih kecil atau lebih panjang daripada minimum lebar yang sesuai dengan *code letter* pesawat. Jika *Precision Approach*.

Sehingga untuk golongan 4C, landasan dengan lebar 45m masih sesuai kriteria.

### 4.3 Analisis Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan Topografi

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian kawasan keselamatan operasi penerbangan terhadap topografi Kota Bandung. Dengan menganalisis hal tersebut, akan diketahui apakah topografi Kota Bandung tidak mengganggu kawasan keselamatan operasi penerbangan sehingga keselamatan operasional asih dapat terpenuhi.

#### 4.3.1 Penentuan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP)

Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SKEP/ 76 / VI /2005, berikut ini pada Tabel 4.5 merupakan batas KKOP berdasarkan klasifikasi *runway*.

Tabel 4.5 Dimensi KKOP berdasarkan klasifikasi *runway*.

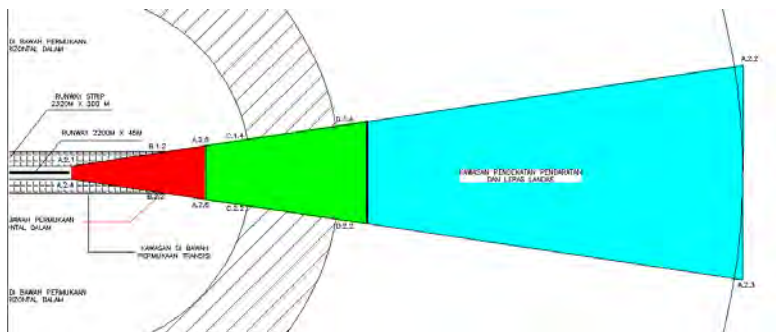
OLS & Dimensions (in meters and percentages)	Runway Classification									
	Non – Instrument				Instrument					
					Non-Precision			Precision		II- III Code No
	Code No.				Code No		I Code No			
	1*	2	3	4	1,5	3	4	1,2	3,4	3,4
OUTER HORIZONTAL										
Height (m)									150	150
Radius (m)									15000	15000
CONICAL										
Slope	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Height (m)	35	55	75	100	60	75	100	60	100	100
INNER HORIZONTAL										
Height (m)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Radius (m)	2000	2500	4000	4000	3500	4000	4000	3500	4000	4000
APPROACH										
Length of inner edge (m)	60	80	159*	150	90	150	300*	150	300	300
Distance from threshold (m)	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Divergence each side	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
First section length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
Slope	5%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	3,33%	2%	2,5%	2%	2%
Second section length (m)	-	-	-	-	-	3600*	3600	12000	3600	3600
Slope	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%
Horizontal section length (m)	-	-	-	-	-	8400*	8400	-	8400	8400
Total length (m)	1600	2500	3000	3000	2500	15000*	15000	15000	15000	15000
INNER APPROACH										
Width (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								60	60	60
Length (m)								900	900	900
Slope								2,5%	2%	2%
TRANSITIONAL										
Slope	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
INNER TRANSITIONAL										
Slope								40%	33,3%	33,3%
BAUL KED LANDING										
Length of inner edge (m)								90	120	120
Distance from threshold (m)								°	1800	1800
Divergence each side								10%	10%	10%
Slope								4%	3,3%	3,3%

Sumber : SKEP 77-VI-2005

Untuk desain Bandara Husein Sastranegara, digunakan *Non-Precision Approach Runways* dengan pesawat kritis kategori 4C, spesifikasi KKOP disesuaikan dengan ketentuan pada tabel 4.5 di atas, dan dengan uraian sebagai berikut:

1. Kawasan Pendekatan Lepas Landas (*Approach*)

Kawasan ini dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama berjarak 60 meter dari ujung landas pacu dengan lebar bagian dalam, kawasan ini melebar ke arah luar secara teratur dengan sudut pelebaran 15% serta garis tengah bidangnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landas pacu dengan jarak mendatar pertama adalah 3000m dengan kemiringan ketinggian dari landas pacu adalah 2%, jarak mendatar kedua adalah 3600m dari jarak mendatar pertama dengan kemiringan 2.5%, dan jarak mendatar ketiga adalah 8400 dari jarak mendatar kedua dengan kemiringan 2.5% sehingga jumlah jarak mendatar keseluruhan adalah 15000m dengan lebar akhir kawasan ini adalah 4800m. Gambar dari kawasan pendekatan lepas landas sebagai berikut pada Gambar 4.1.

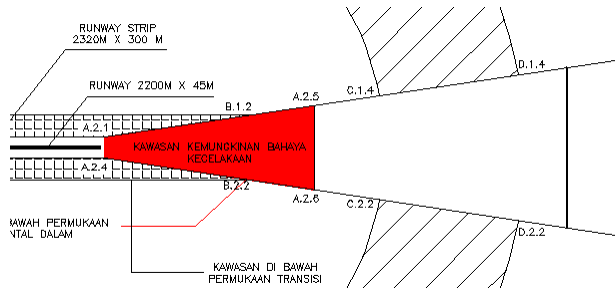


### Gambar 4.1 Kawasan Pendekatan Lepas Landas

## 2. Kawasan Kemungkinan Bahaya Kecelakaan

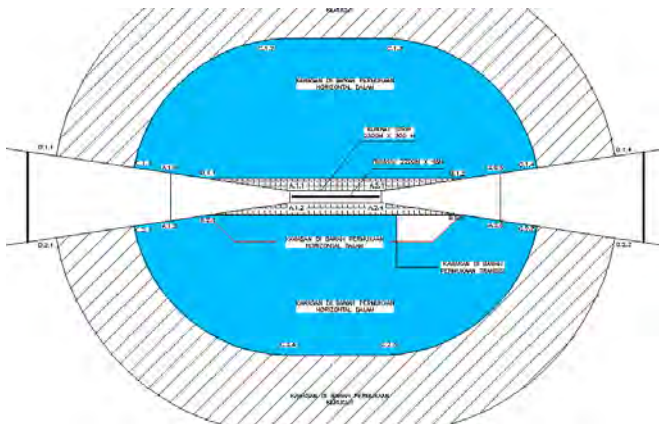
Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dibatasi oleh tepi dala yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama dengan lebar 300 meter, kawasan ini meluas keluar secara teratur

dengan garis tengahnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landasa pacu sampai lebar 1200 meter dan jarak mendatar 3000 meter dari ujung permukaan utama. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan sebagai berikut pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan

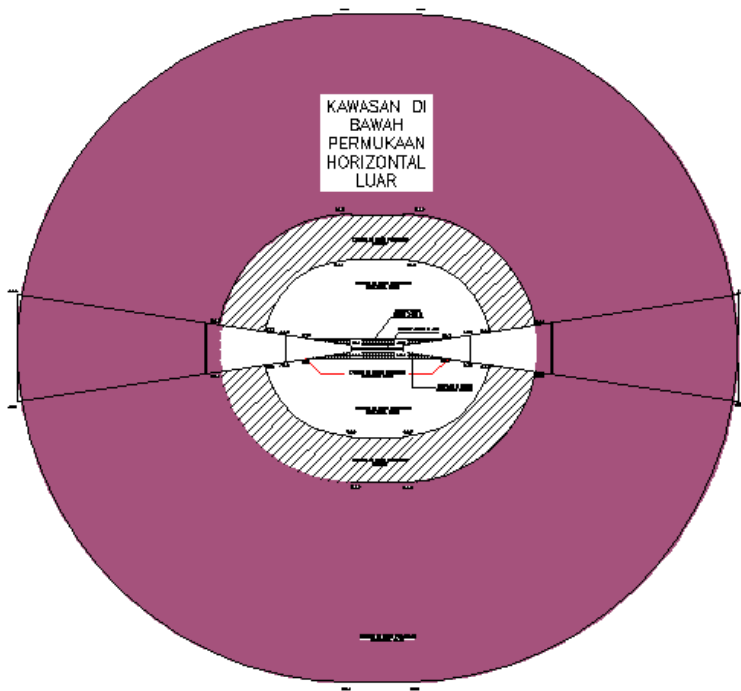
3. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam  
Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam seperti pada gambar Gambar 4.3 dibatasi oleh lingkaran dengan radius 4000 m dari titil tengah tiap ujung permukaan utama dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi.



Gambar 4.3 Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam

4. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar

Kawasan di bawah permukaan horizontal luar seperti pada Gambar 4.4 dibatasi oleh lingkaran dengan radius 15000 meter dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi, kawasan di bawah permukaan horizontal dalam, kawasan di bawah permukaan kerucut.

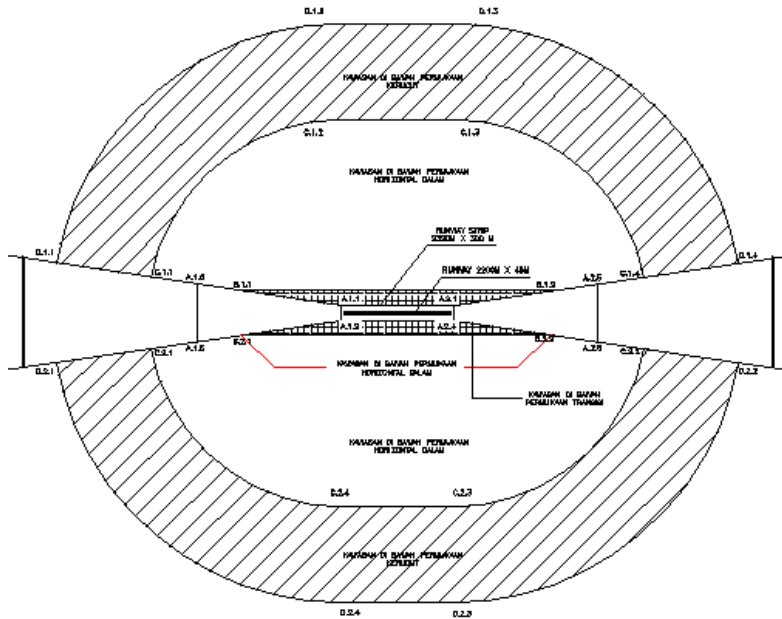


Gambar 4.4 Kawasan di bawah permukaan horizontal luar

5. Kawasan di bawah permukaan kerucut

Kawasan di bawah permukaan kerucut seperti pada Gambar 4.5 dibatasi dari tepi luar kawasan di bawah permukaan

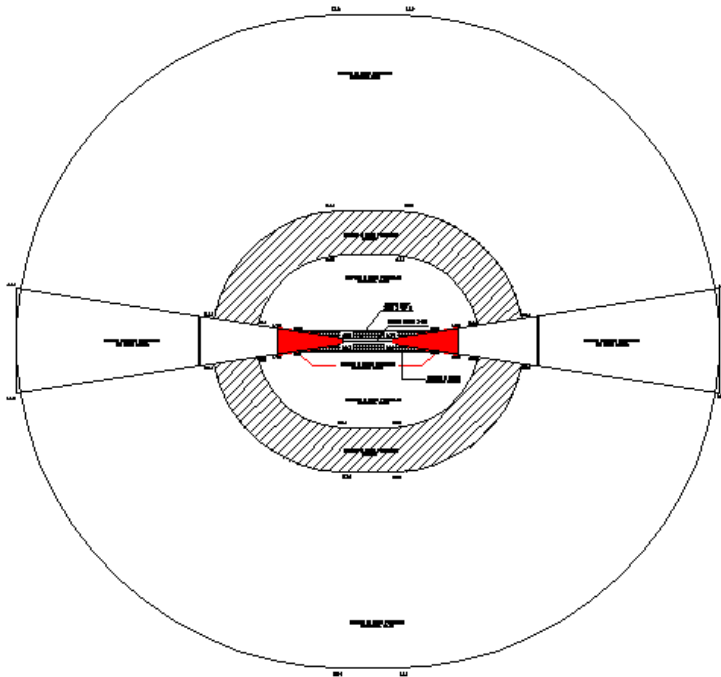
horizontal dalam meluas dengan jarak mendatar 2000 meter dengan kemiringan 5%.



Gambar 4.5 Kawasan di bawah permukaan kerucut

#### 6. Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Kawasan keselamatan operasi penerbangan diwujudkan/berada dalam sistem koordinat bandar udara (Aerodrome Coordinate System/ACS) dan sistem koordinat geografis dalam referensi Word Geodetic System 1984 (WGS'84). Kawasan operasi penerbangan secara keseluruhan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kawasan keselamatan operasi penerbangan

#### 4.3.2 Koordinat Geografis

Guna mengetahui titik-titik dan letak sesungguhnya kawasan keselamatan operasi penerbangan, perlu diketahui koordinat geografis masing-masing titik yang didapatkan dari google earth. Langkah untuk mendapatkan koordinat geografis masing-masing titik adalah dengan menempatkan gambar kawasan keselamatan operasi penerbangan diatas kontur dengan aplikasi autocad. Koordinat pada masing-masing titik kawasan keselamatan operasi penerbangan adalah sebagai berikut pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Koordinat kawasan keselamatan operasi penerbangan

Titik	Koordinat UTM		Koordinat Geografis					
	X (meter)	Y (meter)	Lintang Selatan			Bujur Timur		
			°	'	"	°	'	"
A.1.1	783644.8068	9236982.687	6	53	35.738	107	33	59.906
A.1.2	783542.9769	9236719.857	6	53	44.303	107	33	56.67
A.1.3	768634.0083	9239478.442	6	52	17.126	107	25	50.815
A.1.4	770198.9125	9243992.648	6	49	50.052	107	26	41.012
A.1.5	780559.1191	9237260.771	6	53	27.231	107	32	19.407
A.1.6	780953.237	9238396.529	6	52	50.288	107	32	32.041
A.1.7	777731.1023	9240072.693	6	51	56.272	107	30	46.862
A.1.8	776985.3959	9237917.003	6	53	6.504	107	30	22.955
A.2.1	785832.0207	9236238.371	6	53	59.558	107	35	11.238
A.2.2	800760.621	9233478.785	6	55	26.583	107	43	17.701
A.2.3	799178.4513	9228758.275	6	58	0.369	107	42	27.077
A.2.4	785734.3846	9235957.504	6	54	8.709	107	35	8.109
A.2.5	788814.5895	9235687.752	6	54	16.934	107	36	48.428
A.2.6	788425.5673	9234551.883	6	54	53.984	107	36	35.967
A.2.7	792388.4417	9235021.713	6	54	37.95	107	38	44.886
A.2.8	791651.1853	9232875.16	6	55	47.884	107	38	21.275
B.1.1	781760.0715	9293797.113	6	22	48.432	107	32	49.047
B.1.2	787921.2125	9235852.41	6	54	11.739	107	36	19.317
B.2.1	781456.9684	9237096.071	6	53	32.432	107	32	48.664
B.2.2	787616.8622	9234973.653	6	54	40.369	107	36	9.565
C.1.1	780116.9673	9238834.58	6	52	36.127	107	32	4.742
C.1.2	784959.4579	9240629.751	6	51	36.906	107	34	42.063
C.1.3	787097.994	9239869.069	6	52	1.268	107	35	51.807
C.1.4	789743.6586	9235513.872	6	54	22.422	107	37	18.703
C.2.1	779633.7911	9237430.206	6	53	21.881	107	31	49.255
C.2.2	789258.2248	9234115.716	6	55	7.975	107	37	3.151
C.2.3	784468.6488	9232336.299	6	56	6.692	107	34	27.543
C.2.4	782252.6652	9233064.734	6	55	43.393	107	33	15.271
D.1.1	778344.361	9239760.273	6	52	6.327	107	31	6.879
D.1.2	785957.0945	9241631.273	6	51	4.163	107	35	14.361



Tabel 4.6 Lanjutan

D.1.2	785957.0945	9241631.273	6	51	4.163	107	35	14.361
D.1.3	787755.1583	9241760.64	6	50	59.64	107	36	12.864
D.1.4	791711.2813	9235153.234	6	54	33.796	107	38	22.819
D.2.1	777672.4684	9237786.169	6	53	10.642	107	30	45.345
D.2.2	791034.6368	9233191.691	6	55	37.703	107	38	1.146
D.2.3	783825.9549	9230417.776	6	57	9.195	107	34	6.958
D.2.4	781638.8905	9231172.443	6	56	45.037	107	32	55.62
E.1.1	790653.4411	9250282.58	6	46	22.008	107	37	45.691
E.1.2	788466.8927	9251053.383	6	45	57.326	107	36	34.397
E.1.3	780861.8997	9221862.834	7	1	47.924	107	32	31.96
E.1.4	778696.272	9222627.537	7	1	23.437	107	31	21.305

#### 4.3.3 Topografi di Bawah Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

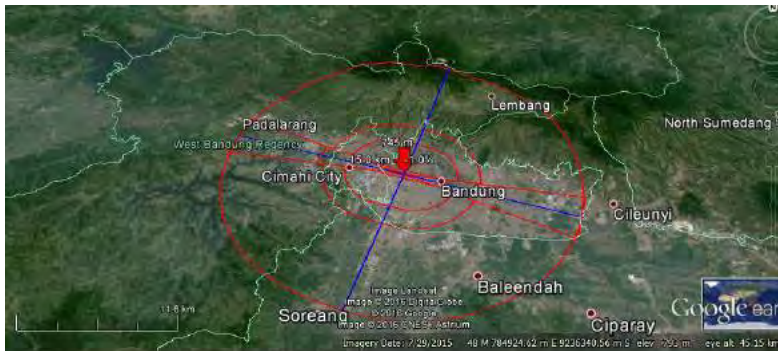
Kawasan keselamatan operasi penerbangan mempunyai batas ketinggian tertentu, seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.3.1 yaitu penentuan kawasan keselamatan operasi Bandara Husein Sastranegara. Halangan yang melebihi batas ketinggian kawasan keselamatan operasi penerbangan harus diberikan perlakuan khusus.. Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan menyebutkan pada poin 8.6 bahwa bangunan atau suatu benda yang ada secara alami berada di kawasan keselamatan operasi penerbangan dan ketinggiannya masih dalam batas ketinggian yang diperkenankan akan tetapi diduga dapat membahayakan keselamatan operasi penerbangan, harus diberi tanda atau dipasang lampu. Pemberian tanda atau pemasangan lampu termasuk pengoperasian dan pemeliharaan dilaksanakan oleh dan atas biaya pemilik atau yang menguasainya. Guna mengetahui luasan wilayah dan ketinggian wilayah dibawah kawasan keselamatan operasi penerbangan, perlu diketahui tinggi kontur pada batas KKOP. Gambar 4.7 menunjukkan *plotting* KKOP terhadap peta kontur.



Selain dengan menggunakan kontur, dapat pula menempatkan gambar batas kawasan keselamatan operasi pada google earth sehingga lebih mudah untuk mengetahui elevasi pada kawasan tersebut seperti pada gambar Gambar 4.8 diatas.

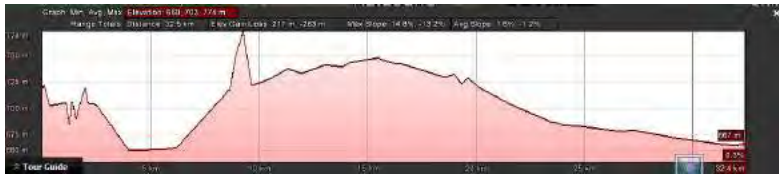
#### 4.3.4 Evaluasi KKOP Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi

Evaluasi KKOP dilakukan guna mengetahui apakah ketinggian topografi pada wilayah ini memenuhi keselamatan operasi yaitu tidak melebihi dari batas yang disyaratkan. Dalam evaluasi ini penulis memilih untuk menggunakan google earth untuk mengetahui elevasi topografi bawah kawasan keselamatan operasi penerbangan. Dalam hal ini ditentukan potongan memanjang dan melintang pada KKOP seperti pada gambar . Kemudian dapat dilihat hasil grafik elevasi garis memanjang dan melintang KKOP seperti pada gambar untuk elevasi dari potongan memanjang dan pada gambar untuk elevasi melintang di bawah KKOP.



Gambar 4.9 Menentukan potongan memanjang dan melintang KKOP terhadap topografi (warna biru)

Sumber: google.earth



Gambar 4.10 Elevasi potongan memanjang topografi

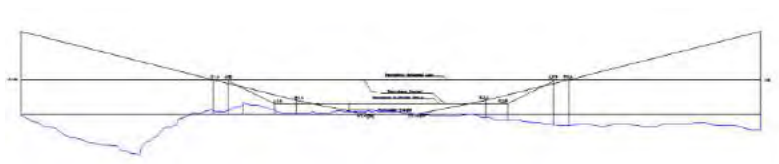
Sumber: google.earth



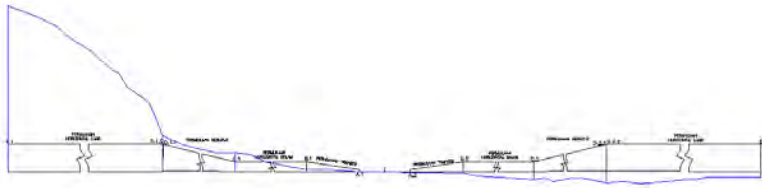
Gambar 4.11 Elevasi potongan melintang topografi

Sumber: google.earth

Batas ketinggian KKOP dan elevasi topografi pada potongan memanjang dan melintang KKOP dapat digabungkan sehingga dapat diketahui dengan jelas kenampakan KKOP terhadap topografi Bandara Husein Sastranegara. Pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 merupakan potongan memanjang dan melintang yang tergambar dari hasil evaluasi KKOP dan topografi. Gambar lebih jelas akan dilampirkan pada lampiran.



Gambar 4.12 Potongan memanjang KKOP terhadap topografi

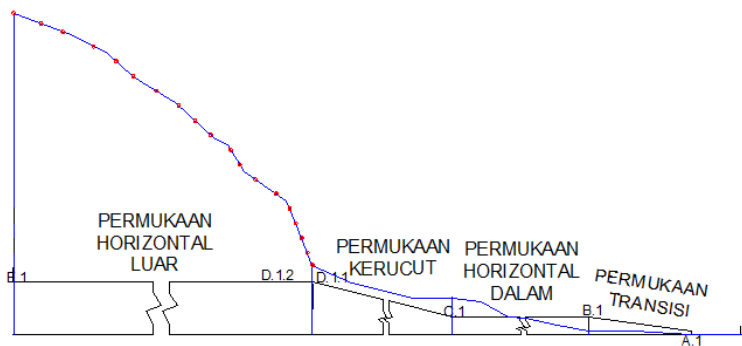


Gambar 4.13 Potongan melintang KKOP terhadap topografi

Catatan : Garis berwarna biru adalah bentuk topografi dan garis berwarna hitam adalah batas KKOP

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa elevasi topografi tidak melebihi batas ketinggian kawasan keselamatan operasi Bandara Husein Sastranegara. Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa elevasi topografi melebihi batas kawasan keselamatan operasional. Berdasarkan SNI 03-7112-2005 tentang kawasan keselamatan operasi penerbangan bahwa terhadap bangunan yang berupa benda tidak bergerak yang sifatnya sementara maupun tetap yang didirikan atau dipasang oleh orang atau yang telah ada secara alami, seperti: gedung-gedung, menara, cerobong asap, gundukan tanah, jaringan transmisi, bukit dan gunung yang menjadi penghalang atau *obstacle* saat ini tetap diperbolehkan sepanjang prosedur keselamatan operasi penerbangan terpenuhi. Hal terpenting yang diperhatikan adalah tidak adanya halangan pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dan batas ketinggian *approach* seperti yang disebutkan pada poin 8.2 SNI 03-7112-2005 bahwa pada kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan sampai jarak 1.100 m dari ujung-ujung permukaan utama hanya digunakan untuk bangunan yang diperuntukkan bagi keselamatan operasi penerbangan dan benda tumbuh yang tidak membahayakan keselamatan operasi penerbangan dengan batas ketinggian ditentukan oleh kemiringan 5% arah ke atas dan ke luar dimulai dari ujung permukaan utama pada ketinggian masing-masing ambang landasan sepanjang arah mendatar 1.100 meter dari permukaan utama melalui garis tengah landasan. Untuk memenuhi

prosedur keselamatan operasi penerbangan, jika ada benda yang menghalangi kawasan keselamatan operasi penerbangan, perlu di tambahkan *obstacle light* pada penghalang tersebut. Berdasarkan SNI 03-7051-2004 tentang pemberian tanda dan pemasangan lampu halangan di sekitar bandara, ketinggian topografi lebih dari 150 m dari permukaan tanah pada runway sehingga perlu dipasang jenis lampu III. Jenis lampu III diletakkan pada dataran tinggi yang melebihi 150 m dengan warna lampu putih berkedip-kedip. Intensitas cahaya mada lampu antara  $2000 \pm 25\%$  cd dan dengan jumlah kedipan antara 40 – 60 kali permenit. Antara puncak tertinggi dengan batas permukaan horizontal perlu di beri lampu dengan jarak maksimal 45m. *Obstacle light* (ditunjukkan dengan titik merah) dapat ditempatkan pada daerah sebagai berikut pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Peletakan *obstacle light*

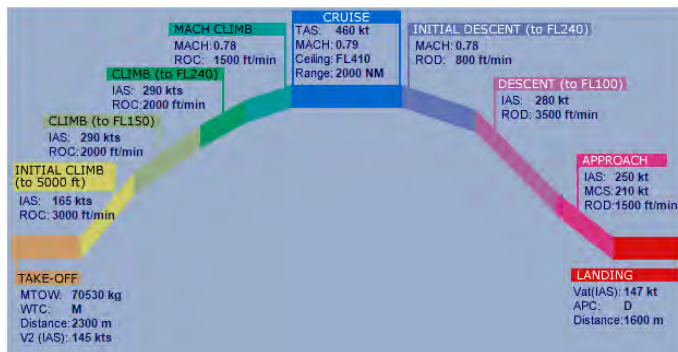
Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada arah memanjang *runway*, kawasan keselamatan operasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi memenuhi syarat dan dapat menjamin keselamatan operasi penerbangan. Sedangkan, pada arah melintang *runway*, kawasan operasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi tidak memenuhi, karena elevasi topografi lebih tinggi dari pada elevasi KKOP. Perlu di tambahkan *obstacle light* pada penghalang dengan jenis lampu

III berwarna putih dengan jarak maksimal 45m antar lampu dan jumlah kedepan 40-60 kali permenit.

#### 4.4 Analisis Karakteristik Pola Pergerakan Masing-masing Pesawat yang Beroperasi di Bandara Husein Sastranegara

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara. Dengan diketahuinya karakteristik pergerakan pesawat saat *take off*, *lift off*, *climb out*, dan *cruise*, dapat diketahui ketinggian dan sudut serta jarak pergerakan masing-masing pesawat, dan kemudian dapat dilakukan koreksi terhadap ketinggian topografi dan batas KKOP.

Dalam melakukan evaluasi, data pokok yang dibutuhkan adalah *aircraft performance/flash* masing-masing pesawat. Berikut ini Gambar 4.15 adalah flash pada pesawat boeing 737-800.



Gambar 4.15 Flash pada pesawat boeing 737-800

Sumber: <https://contentzone.eurocontrol.int>

*Flash* pada Gambar 4.15 mempunyai data yang sama dengan *aircraft performance* seperti pada tabel Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Aircraft Performance (1)

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb	
$V_2$ (IAS)	145 kts	IAS	165 kts	IAS	290 kts	IAS	290 kts	MACH	0.78
Distance	2300 m	ROC	3000 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	1500 ft/min
MTOW	70530 kg								
WTC	M								

Sumber : flightstats.com

Tabel 4.8 Aircraft Performance (2)

Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
TAS	460 kts	MACH	0.78	IAS	290 kts	IAS	kts	$V_{app}$ (IAS)	140 kts
MACH	0.785	ROD	800 ft/min	ROD	3500 ft/min	MCS	210 kts	Distance	1600 m
Ceiling	FL410					ROD	ft/min	APC	C
Range	2000 NM								

Sumber : flightstats.com

Pada sub bab ini, akan dicontohkan perhitungan evaluasi satu jenis pesawat yaitu Boeing 737-800 dan akan dilampirkan keseluruhan rekapan perhitungan semua jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara pada lampiran 1. Dari Gambar 4.15 *flash* diatas, dapat dicari jarak horizontal pesawat terhadap ketinggian yang ditempuh sebagai berikut dirangkum pada Tabel 4.9.



Tabel 4.9 Perhitungan jarak masing-masing perubahan pola pergerakan

Boeing 737-800	Tinggi		Beda Tinggi			IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total	
	1	2	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	ft/min	4	nm	ft	m	6	7	m
Takeoff			0	145		14684.2						2300			2300
Initial Climb	5000	5000		165		16709.6		3000		4.58	27848.88	8354.67		10.18	10654.67
Climb	15000	10000		290		29368.3		2000		24.17	146839.57	44051.87		3.90	54706.54
	24000	9000		290		29368.3		2000		21.75	132155.61	39646.68		3.90	94353.22
Mach Climb	41000	17000			0.78	52665.4		1500		0	596874.15	179062.24		1.63	273415.46
Cruise	41000	0			0.78	52665.4		460		2000	0.00	3704000.00		180.00	
Initial Descent	24000	17000			0.78	52665.4		800		0	1119139.03	335741.71		0.87	415116.04
descent	10000	14000		290		29368.3		3500		19.33	117471.65	35241.50		6.80	79374.34
approach		10000		210		21266.7		1500		23.33	141776.13	42532.84		4.03	44132.84
Landing	0	0		140		14177.8				0	0	1600.00		0.00	1600.00

Catatan: 1 nm (nautical miles) = 6076.12 ft = 1852 m

Tinggi yang dicapai pesawat (kolom 1 Tabel 4.9) adalah tinggi yang dicapai pesawat sehingga pesawat berada pada pola ketinggian tersebut. Misalkan pada pola *Initial Climb* adalah pola dimana pesawat mencapai ketinggian 5000ft (1524 meter) dari ketinggian setelah take off. Beda tinggi (2) pergerakan pesawat adalah beda tinggi antar dua pola. Misalkan pada pola *climb* pertama, pesawat mencapai ketinggian FL150 (15000ft) dari pola sebelumnya yaitu initial climb 5000ft. Beda tinggi pada pola climb adalah selisih ketinggian pada saat initial climb dan climb pertama yaitu 10000ft. IAS (*Indicated Airspeed*) (3) adalah kecepatan kritis suatu pesawat menuju ketinggian tertentu. ROC (*Rate of Climb*) (4) adalah kecepatan vertikal suatu pesawat yang beroperasi. Dalam hal ini ketinggian berubah seiring berubahnya waktu. *Rate of climb* telah diketahui pada *aircraft performance*. Jarak horizontal (5) didapatkan dari data beda tinggi, *Rate of Climb*, dan *ground speed*. Dicontohkan pada initial climb sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Jarak (nm)} &= \frac{\text{Beda tinggi (ft)}}{\text{ROC (fpm)}} + \frac{\text{Ground Speed (kts)}}{60} \\ \text{Jarak (nm)} &= \frac{(5000\text{ft}-0\text{ft})}{3000\text{fpm}} + \frac{165 \text{ kts}}{60} \\ \text{Jarak (nm)} &= 4.58 \text{ nm} = 27848 \text{ ft} = 8354 \text{ m}\end{aligned}$$

Dalam setiap pola penerbangan mempunyai sudut (6) terbang terhadap horizontal. Sudut tersebut diperoleh dari rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\theta^\circ &= \tan^{-1} \frac{\text{beda tinggi (ft)}}{\text{Jarak (ft)}} \\ \theta^\circ &= \tan^{-1} \frac{5000\text{ft}}{27848 \text{ ft}} \\ \theta^\circ &= 10.18^\circ\end{aligned}$$

Jarak total (7) adalah jarak tempuh pesawat dari mulai diam dikumulatifkan dengan jarak tiap pola pergerakannya.

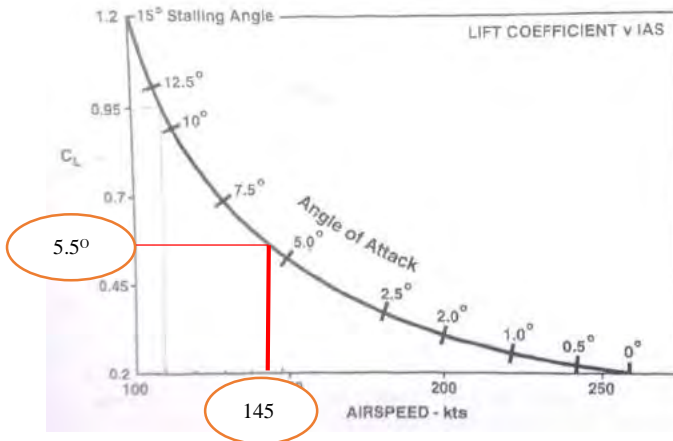
Dalam pola pergerakan lepas landas, terdapat jarak lepas landas (*take off distance*) yang merupakan jarak horizontal yang

diperlukan untuk lepas landas dengan mesin tidak bekerja tetapi pesawat telah mencapai ketinggian 10,7 M (35 Ft) di atas permukaan landasan. Sepanjang jarak lepas landas ini, pesawat mengalami *lift off* yaitu saat badan pesawat mulai terangkat dari landasan. Terdapat batas maksimum sudut *lift* pesawat terhadap horizontal yaitu *angle of attack*. Berikut ini adalah contoh perhitungan pola pergerakan pesawat saat *lift off* pesawat boeing 737-800. Pesawat boeing 737-800 mempunyai airspeed 145kts, di masukkan ke dalam grafik pada

Gambar 4.16. Grafik antara airspeed (kts) dengan *coefficient of lift* menunjukkan pada kecepatan 145 kts, boeing 737-800 mempunyai *angle of attack* 5,5°. *Angle of attack* tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan berikut.

$$\text{TOR (m)} = \text{TOD(m)} - \left( \frac{10.7 \text{ m}}{\tan(\text{angle of attack})^\circ} \right)$$

$$\text{TOR (m)} = 2300 \text{ m} - \left( \frac{10.7 \text{ m}}{\tan(5.5^\circ)} \right) = 2189.21 \text{ m}$$



Gambar 4.16 *Angle of attack*  
Sumber : Swatton, 2008

Atau dengan perhitungan menggunakan climb gradient sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{TOR (m)} &= \text{TOD(m)} - \frac{10.7 \text{ m}}{\text{Climb gradient}(\%)} \\ \text{TOR (m)} &= 2300\text{m} - \frac{10.7 \text{ m}}{6.13 \%} \\ \text{TOR (m)} &= 2126 \text{ m}\end{aligned}$$

*Climb gradient* adalah perbandingan perubahan tinggi terhadap jarak horizontal yang ditempuh pesawat. *Climb gradient* dapat didapatkan dari perhitungan berikut. Dicontohkan dengan perhitungan climb gradient pesawat Boeing 737-800.

$$\text{Climb Gradient (\%)} = \frac{(\text{Total thrust} - \text{total drag})\text{kg}}{\text{mass kg}} \times 100$$

$$\text{Climb Gradient (\%)} = \frac{(23400 - 6862)\text{kg}}{78912.6 \text{ kg}} \times 100 = 6.13 \%$$

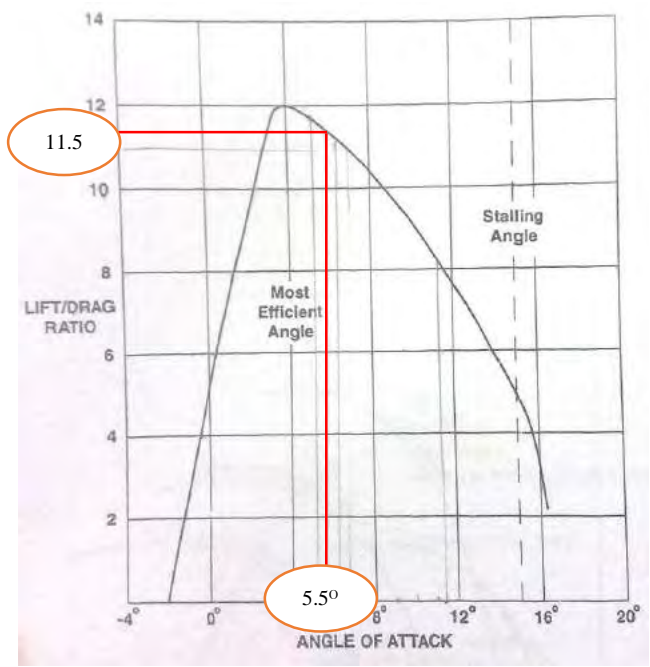
Drag di dapatkan dari perhitungan massa per lift/drag yang didapatkan pada diagram Gambar 4.17. Dari grafik Gambar 4.17 Gambar 4.17 didapatkan lift/drag = 11.5 sehingga dapat dimasukkan kedalam rumus berikut.

$$\text{Total drag (kg)} = \frac{\text{mass (kg)}}{\frac{\text{lift}}{\text{drag}} \text{ratio}}$$

$$\text{Total drag (kg)} = \frac{78912.6 \text{ kg}}{11.5}$$

$$\text{Total drag (kg)} = 6862 \text{ kg}$$

Hasil perhitungan *climb gradient* untuk semua jenis pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara dapat dilihat pada Tabel 4.10.



Gambar 4.17 Grafik menentukan *lift/drag ratio*  
Sumber : Swatton, 2008

Tabel 4.10 Perhitungan *climb gradient*

Aircraft	Aircraft Mass (kg)	Total Thrust (kg)	lift/drag	Drag (kg)	ROC lift (fpm)	Climb Gradient (%)
Boeing 737-800	78912.6	23400	11.5	6861.965	2856.02	6.13
Boeing 737-900	74292	23300	11.8	6295.932	3357.23	7.21
Boeing 737-500	61608	17800	11	5600.727	2332.01	5.36
Boeing 737-300	63193.5	19800	11.3	5592.345	2961.46	6.82
Farchild Domier 328- 100	15639.372	12100	8.2	1907.24	8315.97	26.49
Airbus A320	73404.12	23600	11.5	6382.967	3363.06	7.38
ATR 42	16129.065	8356	8.2	1966.959	3540.04	13.71
ATR 72	19963.71	9600	8.2	2434.599	3299.72	11.85

Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 berikut merupakan tabel perhitungan *Take of Run* (TOR) yang didapatkan dari *angle of attack* dan dari *climb gradient*.

Tabel 4.11 Perhitungan *Take of Run* (1)

Pesawat	V2	TOD	<i>Angle of Attack</i>	ketinggian lift	TOD - TOR	TOR
	kts	m	°	m	m	m
Boeing 737-800	145	2300	5.50	10.67	110.79	2189.21
Boeing 737-900	149	2300	5.00	10.67	121.94	2178.06
Boeing 737-500	139	1500	6.50	10.67	93.63	1406.37
Boeing 737-300	140	1600	6.00	10.67	101.50	1498.50
Farchild Dornier 328- 100	110	1000	11.25	10.67	53.63	946.37
Airbus A320	145	2190	5.50	10.67	110.79	2079.21
ATR 42	110	1100	11.25	10.67	53.63	1046.37
ATR 72	110	1500	11.25	10.67	53.63	1446.37

Tabel 4.12 perhitungan *Take of Run* (2)

Pesawat	V2	TOD	Climb Gradient	ketinggian lift	TOD - TOR	TOR
	kts	m	%	m	m	m
Boeing 737-800	145	2300	6.13	10.67	174.00	2126.00
Boeing 737-900	149	2300	7.21	10.67	148.03	2151.97
Boeing 737-500	139	1500	5.36	10.67	199.21	1300.79
Boeing 737-300	140	1600	6.82	10.67	156.50	1443.50
Farchild Dornier 328- 100	110	1000	26.49	10.67	40.27	959.73
Airbus A320	145	2190	7.38	10.67	144.56	2045.44
ATR 42	110	1100	13.71	10.67	77.82	1022.18
ATR 72	110	1500	11.85	10.67	90.04	1409.96

Namun pada perhitungan TOR dengan menggunakan *climb gradient*, pada pesawat Boeing 737-800 dengan *climb gradient* menghasilkan *angle of lift* sudut tersebut lebih dari *angle of attack* sangat berbahaya untuk penerbangan. Sehingga diantara kedua perhitungan TOR pada tabel dan tabel yang digunakan adalah TOR berdasarkan *angle of attack*.

#### 4.5 Analisis kesesuaian pergerakan masing-masing pesawat yang beroperasi dengan topografi

Analisis topografi dalam tugas akhir ini dilakukan pengamatan pada penampakan topografi searah dengan *approach runway* yang kemudian akan di evaluasi terhadap pola pergerakan pesawat. Gambar 4.18 berikut merupakan bentuk topografi yang diambil dari tengah *runway* ke arah 29 sepanjang 18,1 km dan ke arah 11 sepanjang 18,1 km. Gambar lebih jelas dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.18 Topografi kawasan bandara pada arah *runway* 11-29

Setelah mengetahui elevasi topografi kawasan bandara, dilakukan evaluasi pola pergerakan terhadap topografi. Dilakukan evaluasi terhadap ketinggian pesawat saat lift off terlebih dahulu. Jika elevasi permukaan tanah ditambah dengan jarak ijin ketinggian (10.7 m) antara permukaan tanah dan pesawat memenuhi syarat, maka untuk pola pergerakan pesawat selanjutnya yang lebih tinggi, tidak akan mengganggu keselamatan penerbangan.

Dicontohkan jenis pesawat boeing 737-800 dengan take off distance 2300 meter dan mengalami lift off menuju ketinggian 35ft (10,7 m) ke arah *runway* 29-11. Setelah diperhitungkan dan mendapatkan TOR sepanjang 2189.21 meter dengan sudut lift off  $5.5^\circ$  maka dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 4.19 *Lift off* suatu pesawat

Dari Gambar 4.19 tersebut, biru merupakan topografi permukaan tanah, hitam merupakan garis horizontal sejajar *runway* bandara, dan merah merupakan garis penerbangan pesawat setelah lift off (*gradient of climb*). Sehingga dapat disimpulkan bahwa pesawat tidak mengalami gangguan keselamatan saat melakukan lift off. Sehingga untuk pola-pola pergerakan pesawat berikutnya, tidak akan mengganggu keselamatan operasional.

#### 4.6 Pengaruh Berat Pesawat terhadap Ruang Udara

Beberapa kasus yang disebabkan oleh terlalu berlebihannya beban pesawat adalah pesawat akan membutuhkan kecepatan untuk take off yang lebih besar, yang membuat take off run lebih panjang. Pesawat yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara jarak terjauh adalah Bandara Kualanamu Medan. Berat pesawat, panjang *runway*, kapasitas bahan bakar pesawat dan kawasan keselamatan sangat mempengaruhi destinasi suatu pesawat. Oleh karena itu dilakukan perhitungan berikut untuk mengetahui efektivitas operasional pesawat terhadap ruang udara yang memenuhi keselamatan operasional.

Pesawat kritis yang beroperasi di Bandara Husein Sastra negara adalah Boeing 737-800. Jarak maksimum yang ditempuh pesawat adalah Bandara Husein Sastranegara Bandung – Bandara Kualanamu Medan dengan jarak 820 *nautical miles*. Range/jarak yang telah diketahui dimasukkan ke dalam grafik Gambar 4.20. Dari grafik Gambar 4.20 dengan range 820 nm didapatkan OWE *plus payload* adalah 62000 kg dengan *Brake Release Gross Weight* adalah 70307 kg. OEW boeing 737-800 adalah 41413 kg. Sehingga payload pada penerbangan ini adalah sebagai berikut.

$$\text{Payload} = \text{OWE plus payload pada grafik} - \text{OWE}$$

$$\text{Payload} = 62000 - 41413 \text{ kg}$$

$$\text{Payload} = 20507 \text{ kg}$$



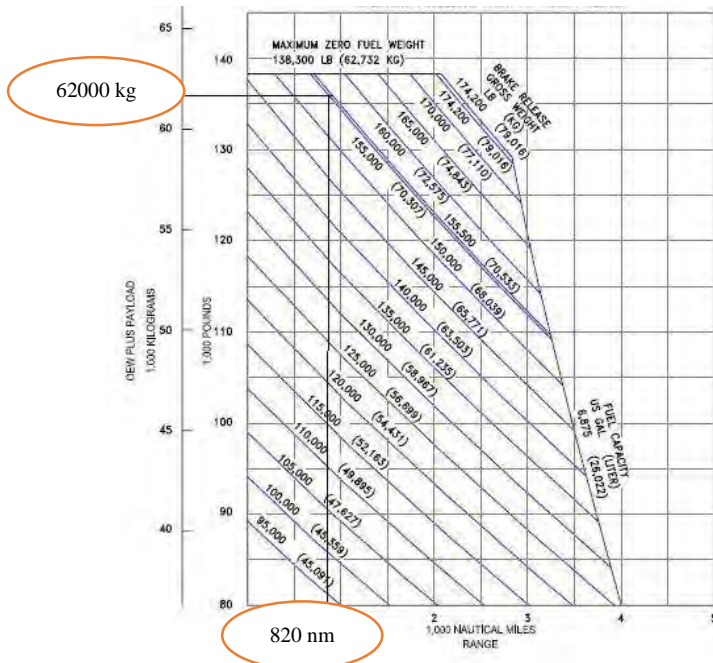
Dilakukan juga perhitungan konsumsi bahan bakar pesawat boeing 737-800 pada destinasi Bandung – Medan sebagai berikut.

Konsumsi *fuel* = *Brake Release Gross Weight* – *Zero Fuel Weight*

Konsumsi *fuel* = 70307 kg – 62000 kg

Konsumsi *fuel* = 8307 kg = 10130 liter

(Masa jenis avtur = 0.820 kg/liter ( 6.84 lb/US gal))



Gambar 4.20 Grafik pengaruh range dan payload pesawat boeing 737-800

Sumber : Swatton, 2008

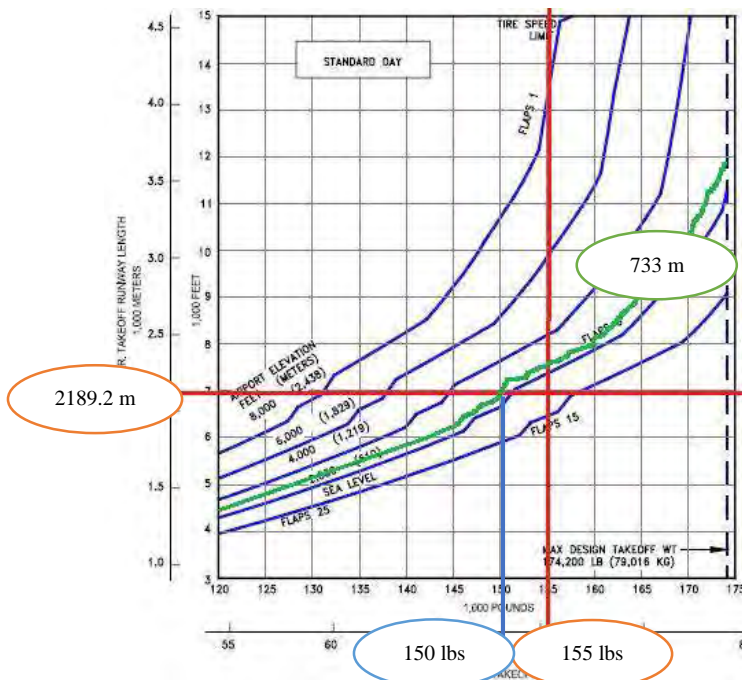
Dengan *Take off distance* 2189.2 m, maka dapat dilihat pada grafik Gambar 4.21 bahwa dengan elevasi *runway* 733m diatas permukaan air laut, maka seharusnya *Operational Takeoff*

*Weight* adalah 68000 kg. Namun berdasarkan klasifikasinya, dalam rute penerbangan ini berat pesawat mencapai 70307 kg. Sehingga maximum payload pada penerbangan ini sebagai berikut.

Max Payload = AGW – bahan bakar – OWE

Max Payload = (68000 – 10130 – 41413) kg

Max Payload = 16457 kg

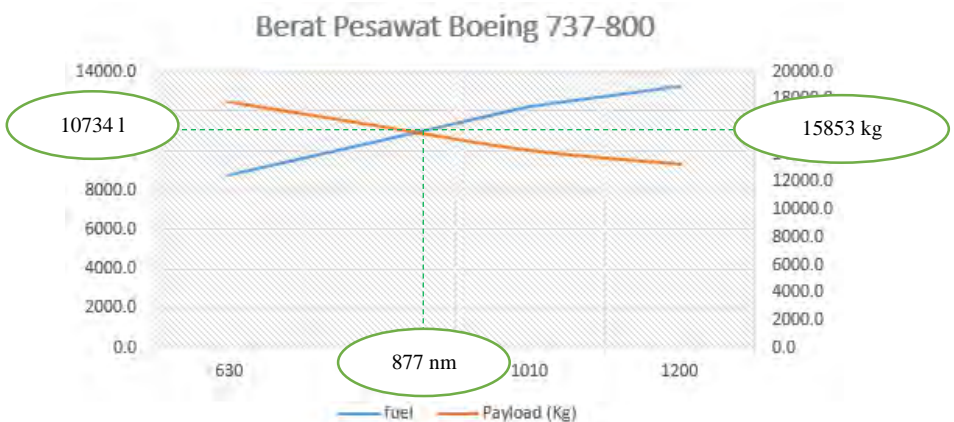


Gambar 4.21 Grafik Berat operasi lepas landas pesawat boeing 737-800

Destinasi pesawat dari Bandara Husein Sastranegara menuju Bandara Kualanamu memerlukan waktu 8400s ( 2 jam 20 menit) dengan Boeing 737-800 sehingga kecepatan rata-rata pesawat tersebut adalah 5.9 nm/menit. Dalam radius destinasi 820

nm pesawat dapat menghabiskan bahan bakar sebesar 10130 liter, sehingga konsumsi bahan bakar pesawat per panjang destinasi yang ditempuh adalah 15 liter/nautical miles. Fuel cadangan pada pesawat berdasarkan CASR (Civil Aviation Safety Regulation) part 91 adalah 30 menit dengan kecepatan normal. Sehingga fuel cadangan yang diperlukan oleh pesawat adalah 2655 liter.

Dalam evaluasi ini, perlu diketahui destinasi optimum dengan komposisi *fuel* dan *payload* terbaik dalam operasional pesawat boeing 737-800. Semakin jauh destinasi suatu pesawat, maka akan semakin besar pula fuel yang dikonsumsi dan semakin berkurang payload dalam pesawat tersebut. Sehingga dibuatlah grafik payload, fuel, dan jarak sebagai berikut pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Grafik payload, fuel, dan jarak operasional Boeing 737-800

Gambar 4.22 menunjukkan bahwa operasional pesawat berada pada kesetimbangan optimum pada jarak tempuh 877 nm (1624.2 km) dengan mengkonsumsi bahan bakar sebesar 10734 liter dan payload sebesar 15853 kg.

Sehingga destinasi pesawat boeing 737-800 dapat ditambahkan tidak hanya pada radius 820 nm (Bandara Husein

Sastranegara Bandung – Bandara Kuala Namu Medan) melainkan dapat ditambahkan destinasi hingga 877 nm dan dapat menambah destinasi ke beberapa bandara sebagai berikut.

1. Bandara Mutiara (Kalimantan)
2. Bandar Udara Lawas (Kalimantan)
3. Bandara Bolaang (Sulawesi)
4. Bandara Baubau (Sulawesi)
5. Bandara Soa ( Nusa Tenggara)
6. Bandara Teuku Cut Ali (Aceh)
7. Bandara Antar Bangsa Brunei (Brunei Darrussalam)
8. Lapangan terbang sultan Ismail Petra ( Malaysia)
9. Bandara Antar Bangsa Pulau Pinang (Malaysia)

Dapat disimpulkan bahwa pesawat boeing 737-800 yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara Bandung, dapat memperpanjang jarak tempuhnya sebesar *57 nautical miles*.

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

## **LAMPIRAN A**

### **DATA BMKG DAN ANGKASA PURA I**



**BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA**  
**STASIUN GEOFISIKA KLAS I BANDUNG**  
JL. CEMARA NO. 66 BANDUNG

TELP. 022-2031881, FAX. 022-2036212, Alamat Email : [staseof.bandung@bmkg.go.id](mailto:staseof.bandung@bmkg.go.id)

**DATA TEMPERATUR RATA-RATA (°C)**

Lintang : 06° 53' 00,92750" S  
Bujur : 107° 35' 50,52075" E  
DPL : 791,679 meter

**STASIUN GEOFISIKA BANDUNG**

BULAN	2011	2012	2013	2014	2015
JAN	23.3	23.4	23.4	22.5	23.2
FEB	23.5	23.5	23.4	22.9	23.1
MAR	23.5	23.7	23.8	23.3	23.4
APR	23.4	23.5	23.7	23.7	23.6
MEI	23.6	23.2	23.5	23.5	23.4
JUN	23.3	23.3	23.6	23.5	23.1
JUL	22.8	22.6	22.5	23.0	23.1
AGST	23.0	23.2	23.2	23.1	23.6
SEPT	23.4	24.0	23.7	23.7	23.8
OKT	24.1	24.2	23.7	24.2	24.5
NOP	22.9	23.3	23.8	23.6	23.9
DES	24.0	23.3	23.1	23.7	
JUMLAH	280.8	281.2	281	280.7	258.7
MAX					
RATA <sup>2</sup>	23.4	23.4	23.5	23.4	23.5

Lampiran A.1. Data Temperatur Rata-rata (sumber: BMKG Kota Bandung)

Runway	
<u>Arah</u>	11 / 29
<u>Panjang</u>	2220 m
<u>Lebar</u>	45 m
<u>Jenis Perkerasan</u>	Flexible
<u>Kekuatan</u>	PCN 50
<u>Pesawat terbesar</u>	A 320, B 800 N G
<u>Resa</u>	150 x 90 (Rw 11) 150 x 60 (Rw 29)

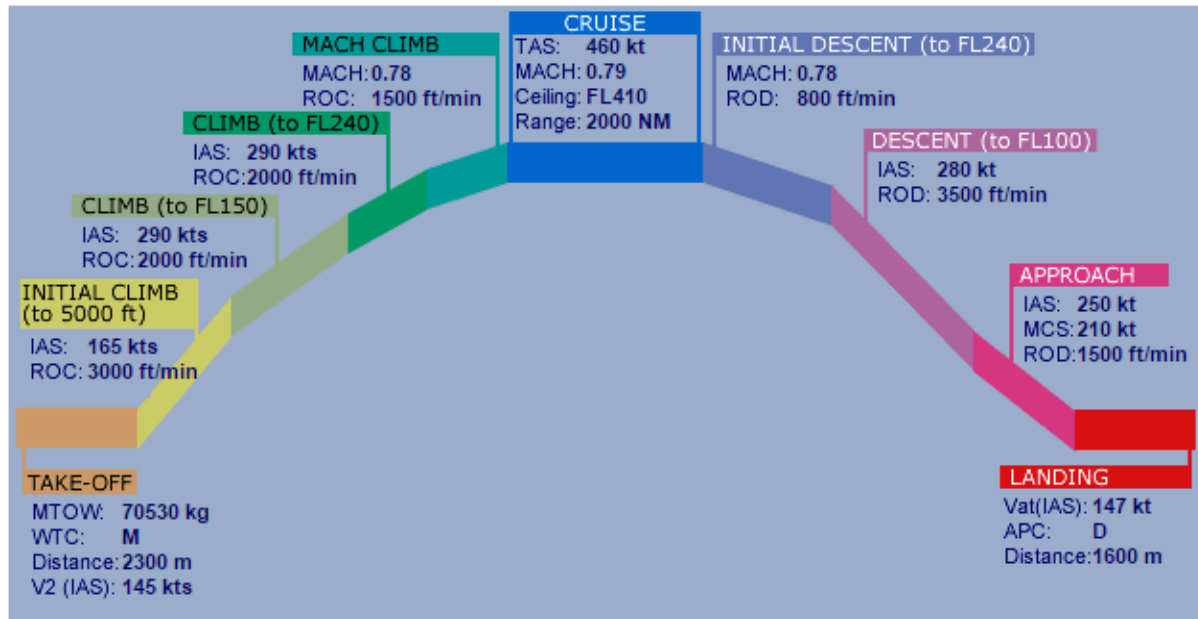
Taxiway yang digunakan Bandara	
<b>Taxiway C</b>	
<u>Luas</u>	4192
<u>Lebar Rata-Rata</u> :	24 m
<u>Panjang Rata-Rata</u>	138m
<u>Jenis Perkerasan</u>	Flexible & Rigid
<u>Kekuatan PCN</u>	50
<b>Taxiway D</b>	
<u>Luas</u> :	2727
<u>Lebar Rata-Rata</u> :	23m
<u>Panjang Rata-Rata</u>	67m
<u>Jenis Perkerasan</u>	Flexible
<u>Kekuatan PCN</u>	50

Lampiran A.2. Data sisi udara Bandara Husein Sastranegara (sumber : Angkasa Pura II)



## **LAMPIRAN B**

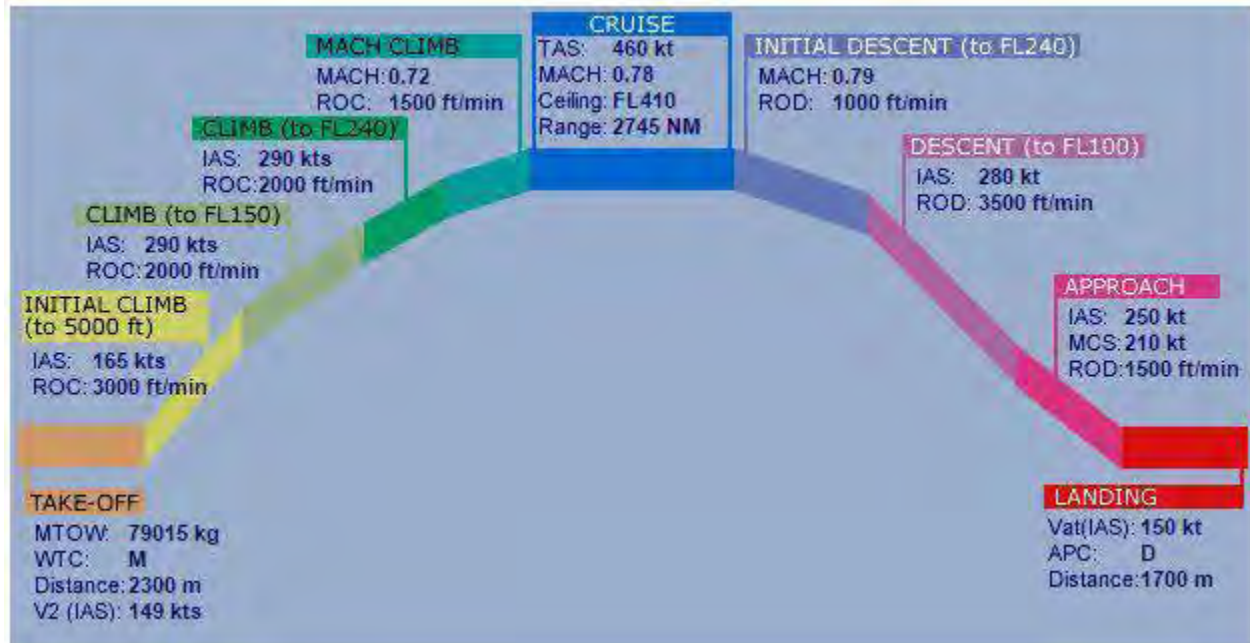
### **DATA POLA PERGERAKAN PESAWAT**



Lampiran B.1. *Flash* pesawat Boeing 737-800

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

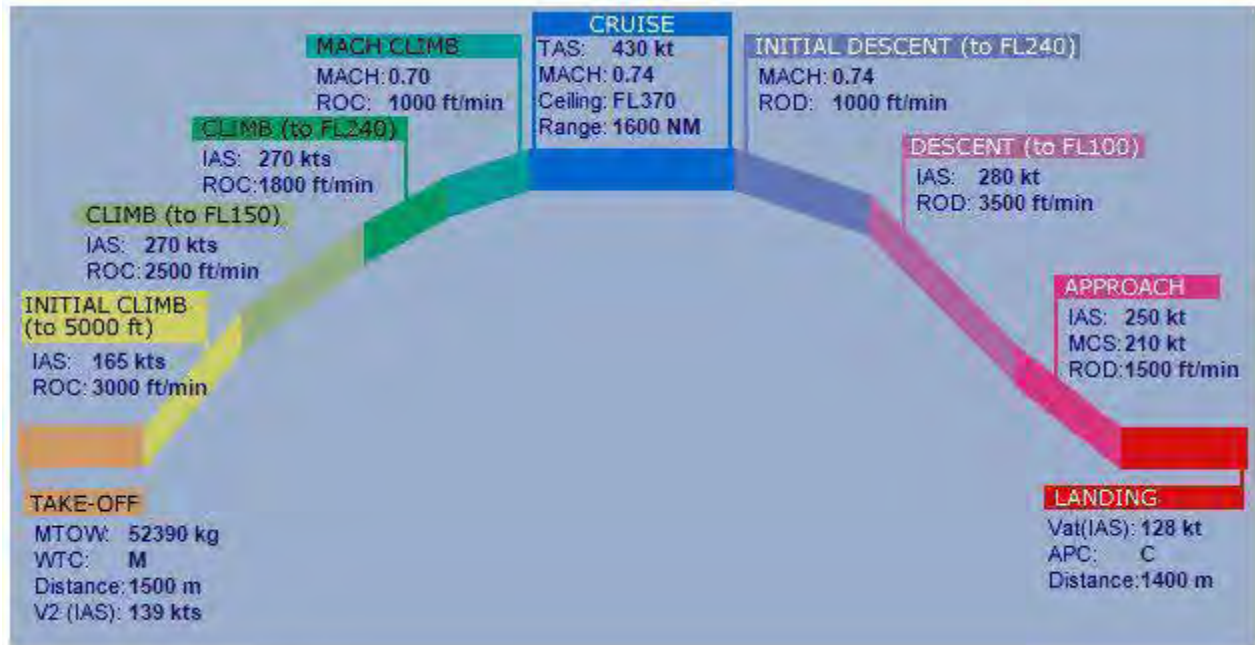
<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>



Lampiran B.2. *Flash* pesawat Boeing 737-900

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

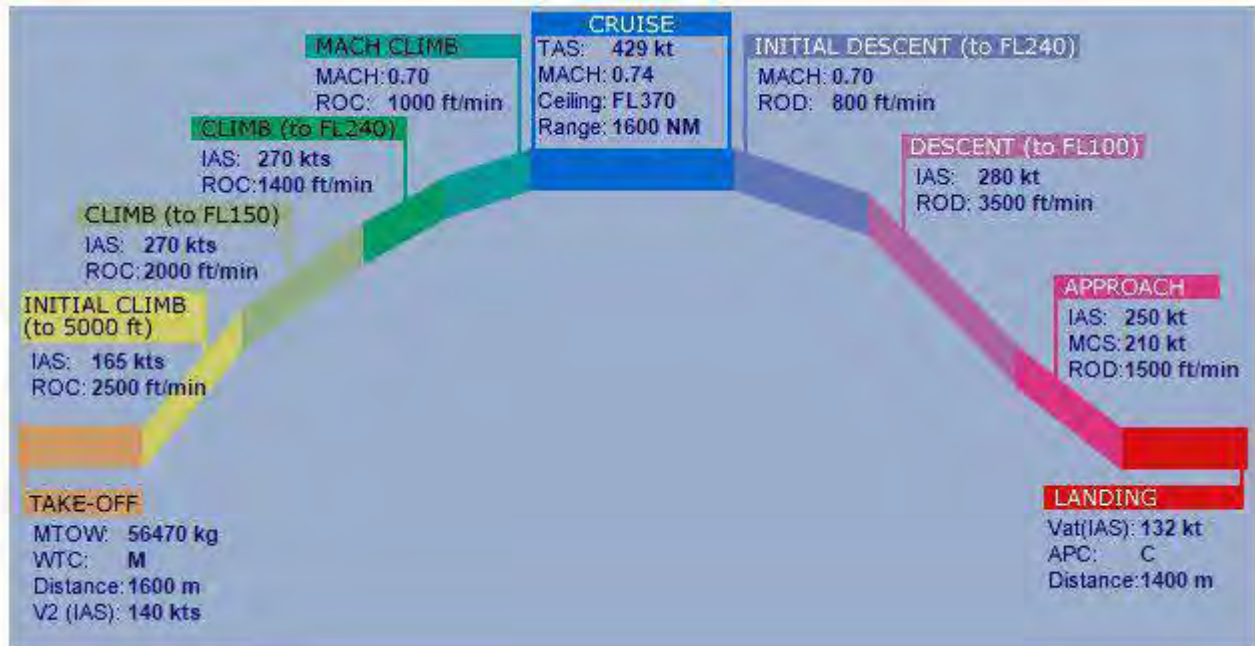
<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>



Lampiran B.3. *Flash* pesawat Boeing 737-500

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

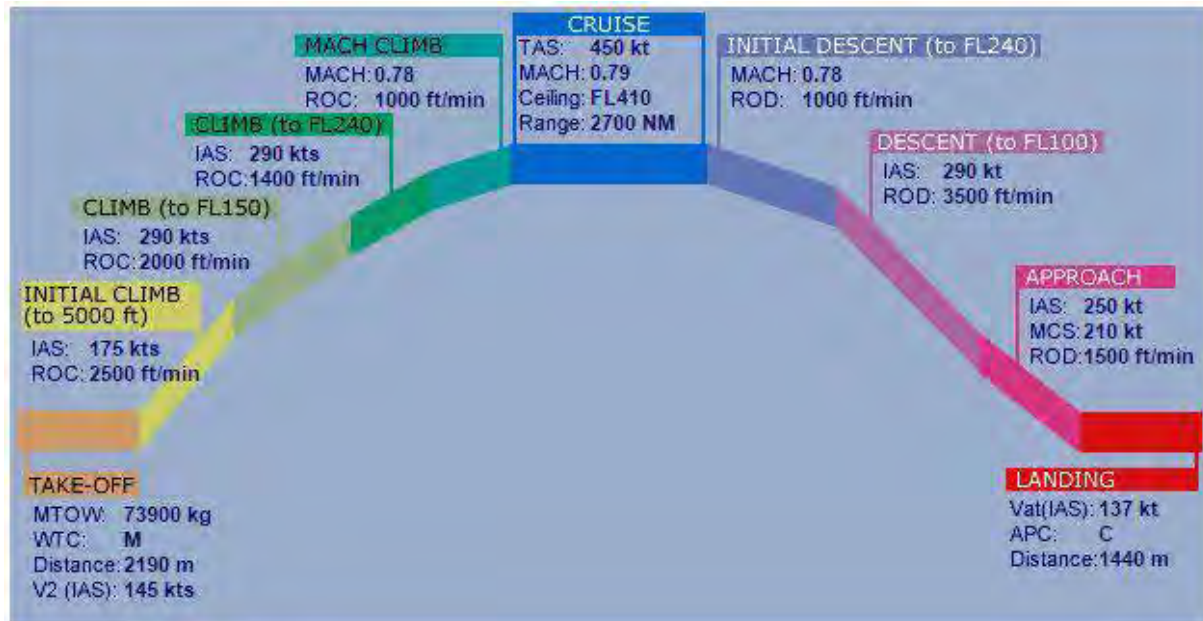
<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>



Lampiran B.4. pesawat Boeing 737-300

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

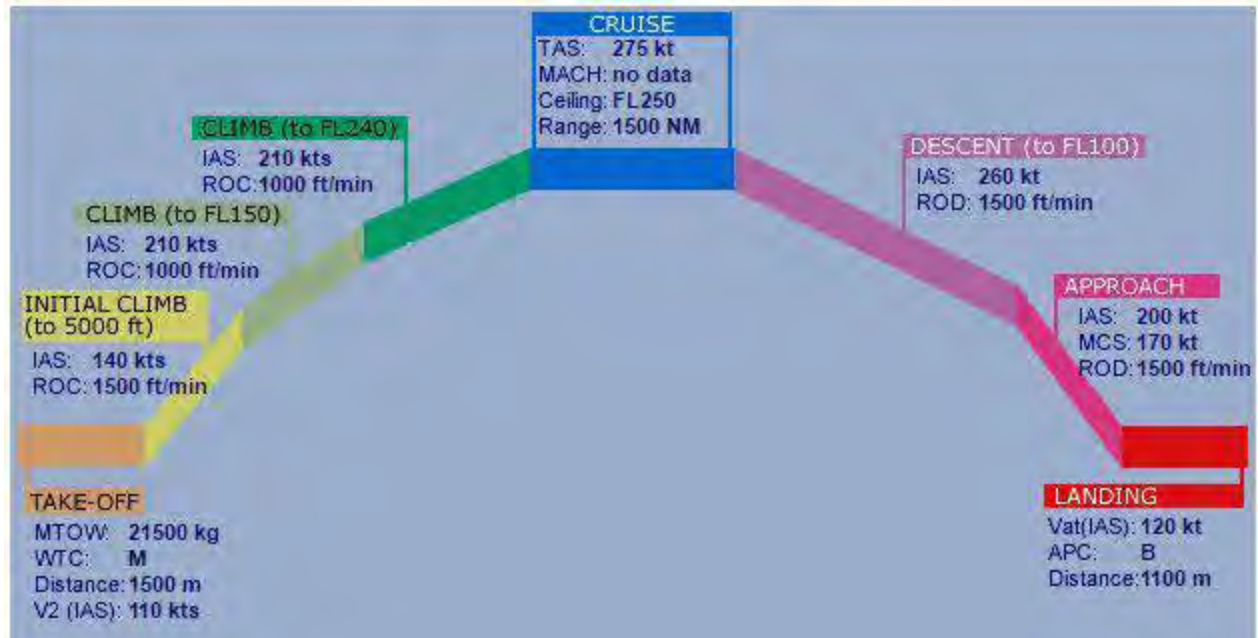
<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>



Lampiran B.5. *Flash* pesawat Airbus A320

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

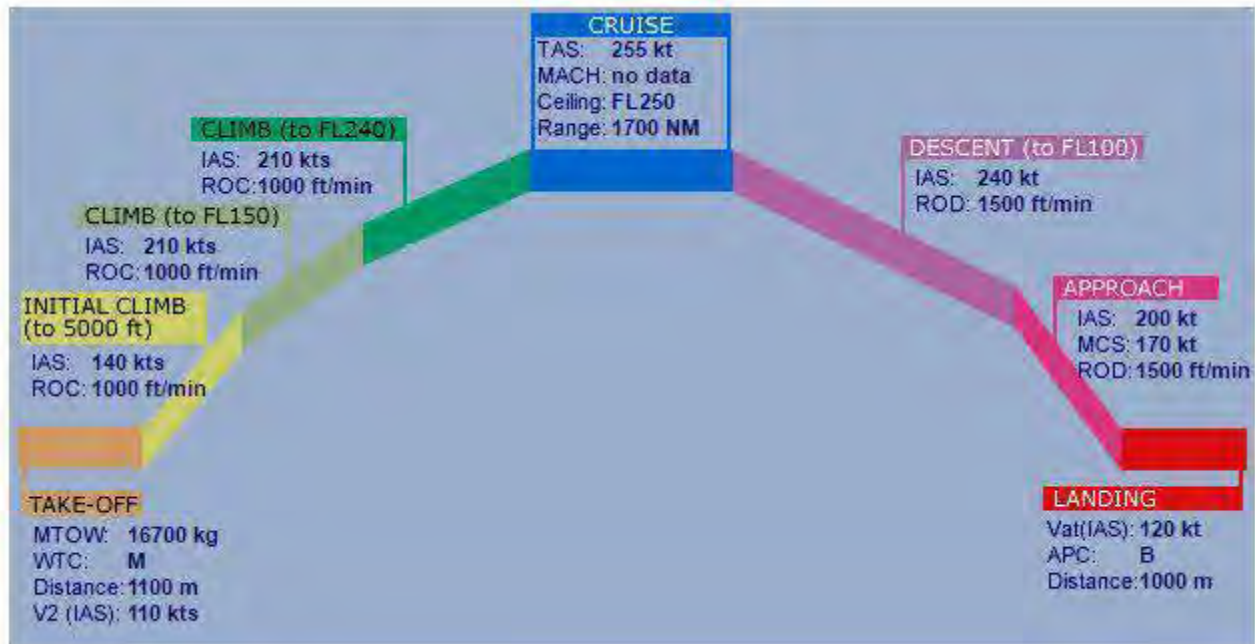
<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>



Lampiran B.6. *Flash* pesawat ATR 72

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>

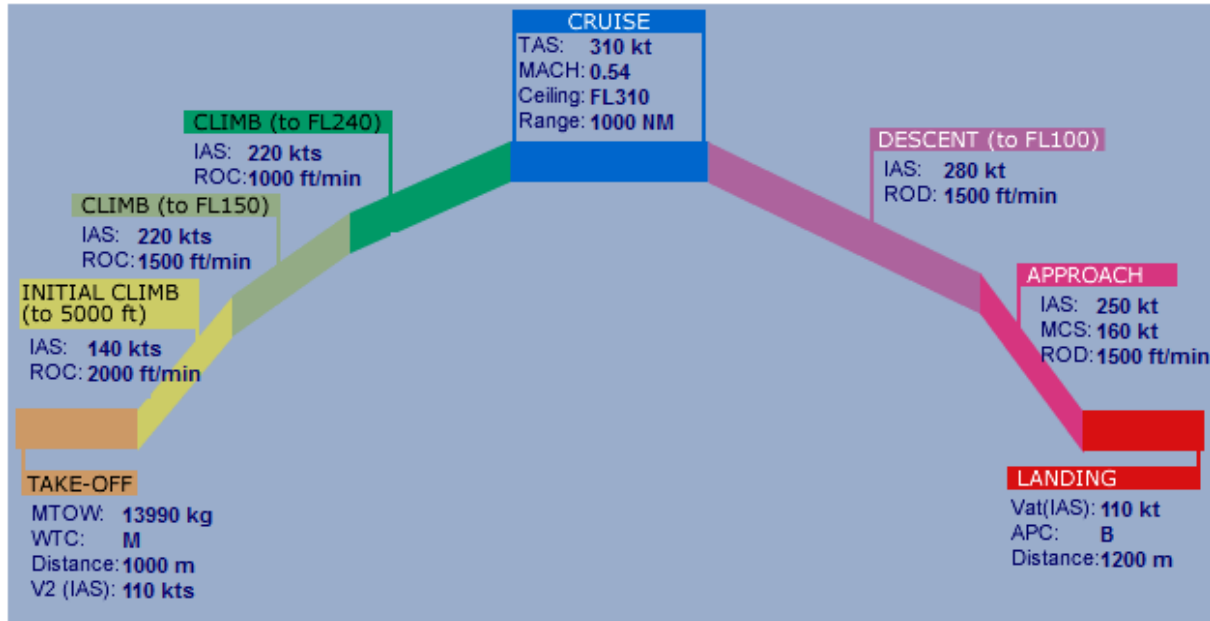


Lampiran B.7. *Flash* pesawat ATR 42

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>





Lampiran B.8. *Flash* pesawat Farchild Dornier 328-100

Sumber : Aircraft Performance Database. 2016.

<URL:<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>>

**LAMPIRAN C**

**ANALISA PERHITUNGAN**

**POLA PERGERAKAN PESAWAT**

Tabel Aircraft Performance **Boeing 737-800**

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	145 kts	IAS	165 kts	IAS	290 kts	IAS	290 kts	MACH	0.78	TAS	460 kts	MACH	0.78	IAS	290 kts	IAS	kts	V <sub>app</sub> (IAS)	140 kts
Distance	2300 m	ROC	3000 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	1500 ft/min	MACH	0.785	ROD	800 ft/min	ROD	3500 ft/min	MCS	210 kts	Distance	1600 m
MTOW	70530 kg									Ceiling	FL410					ROD	ft/min	APC	C
WTC	M									Range	2000 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-800**.

Boeing 737-800	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	145		14684.2				2300		2300
Initial Climb	5000	5000	165		16709.6	3000	4.58	27848.88	8354.67	10.18	10654.67
Climb	15000	10000	290		29368.3	2000	24.17	146839.57	44051.87	3.90	54706.54
	24000	9000	290		29368.3	2000	21.75	132155.61	39646.68	3.90	94353.22
Mach Climb	41000	17000		0.78	52665.4	1500	0	596874.15	179062.24	1.63	273415.46
Cruise	41000	0		0.78	52665.4	460	2000	0.00	3704000.00	180.00	3977415.46
Initial Descent	24000	17000		0.78	52665.4	800	0	1119139.03	335741.71	0.87	4313157.17
descent	10000	14000	290		29368.3	3500	19.33	117471.65	35241.50	6.80	4348398.67
approach		10000	210		21266.7	1500	23.33	141776.13	42532.84	4.03	4390931.51
Landing	0	0	140		14177.8		0	0	1600.00	0.00	4392531.51

Lampiran C.1. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-800**.

Tabel Aircraft Performance **Boeing 737-900**

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	149 kts	IAS	165 kts	IAS	290 kts	IAS	290 kts	MACH	0.72	TAS	480 kts	MACH	0.79	IAS	290 kts	IAS	kts	V <sub>app</sub> (IAS)	145 kts
Distance	2300 m	ROC	3000 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	1500 ft/min	MACH	0.785	ROD	1000 ft/min	ROD	3500 ft/min	MCS	210 kts	Distance	1700 m
MTOW	79015 kg									Ceiling	FL410					ROD	ft/min	APC	C
WTC	M									Range	2745 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-900**.

Boeing 737-900	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	149		15089.23				2300		2300
Initial Climb	5000	5000	165		16709.55	3000	24.17	146839.57	44051.87	1.95	46351.87
Climb	15000	10000	290		29368.30	2000	29.00	176207.48	52862.24	3.25	99214.11
	24000	9000	290		29368.30	1500	0.00	176209.80	52862.94	2.92	152077.05
Mach Climb	41000	17000		0.72	48614.18	1000	0.00	826441.13	247932.34	1.18	400009.39
Cruise	41000	0		0.785	53002.96	460	2745.00	0.00	5083740.00	180.00	5483749.39
Initial Descent	24000	17000		0.79	53340.56	1000	19.33	906789.57	272036.87	1.07	5755786.26
descent	10000	14000	290		29368.30	3500	23.33	141776.13	42532.84	5.64	5798319.10
approach		10000	210		21266.70	1500	23.33	141776.13	42532.84	4.03	5840851.94
Landing	0	0	145		14684.15		0.00	0.00	1700.00	0.00	5842551.94

Lampiran C.2. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-900**.

Tabel Aircraft Performance **Boeing 737-500**

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL249)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	139 kts	IAS	165 kts	IAS	270 kts	IAS	270 kts	MACH	0.7	TAS	430 kts	MACH	0.74	IAS	270 kts	IAS	kts	V <sub>app</sub> (IAS)	128 kts
Distance	1500 m	ROC	3000 ft/min	ROC	2500 ft/min	ROC	1800 ft/min	ROC	1000 ft/min	MACH	0.745	ROD	1000 ft/min	ROD	3500 ft/min	MCS	210 kts	Distance	1400 m
MTOW	52390 kg									Ceiling	FL370					ROD	ft/min	APC	C
WTC	M									Range	1600 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-500**.

Boeing 737-500	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	139		14076.53				1500		1500
Initial Climb	5000	5000	165		16709.55	3000	4.58	27848.88	8354.67	10.18	9854.67
Climb	15000	10000	270		27342.90	2500	18.00	109370.16	32811.05	5.22	42665.71
	24000	9000	270		27342.90	1800	22.50	136712.70	41013.81	3.77	83679.52
Mach Climb	37000	13000		0.7	47263.79	1000	0.00	614429.27	184328.78	1.21	268008.30
Cruise	37000	0		0.745	50302.18	430	1600.00	0.00	2963200.00	180.00	3231208.30
Initial Descent	24000	13000		0.74	49964.58	1000	0.00	649539.51	194861.85	1.15	3426070.16
descent	10000	14000	270		27342.90	3500	18.00	109370.16	32811.05	7.29	3458881.21
approach		10000	210		21266.70	1500	23.33	141776.13	42532.84	4.03	3501414.05
Landing	0	0	128		12962.56		0	0	1400.00	0.00	3502814.05

Lampiran C.3. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-500**.

Tabel Aircraft Performance **Boeing 737-300**

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	140 kts	IAS	165 kts	IAS	270 kts	IAS	270 kts	MACH	0.70	TAS	429 kts	MACH	0.70	IAS	270 kts	IAS	220 kts	V <sub>app</sub> (IAS)	130 kts
Distance	1600 m	ROC	2500 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	1400 ft/min	ROC	1000 ft/min	MACH	0.745	ROD	800 ft/min	ROD	3500 ft/min	MCS	210 kts	Distance	1400 m
MTOW	58470 kg									Ceiling	FL370					ROD	1500 ft/min	APC	C
WTC	M									Range	1600 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-300**.

Boeing 737-500	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	139		14076.53				1500		1500
Initial Climb	5000	5000	165		16709.55	3000	4.58	27848.88	8354.67	10.18	9854.67
Climb	15000	10000	270		27342.90	2500	18.00	109370.16	32811.05	5.22	42665.71
	24000	9000	270		27342.90	1800	22.50	136712.70	41013.81	3.77	83679.52
Mach Climb	37000	13000		0.7	47263.79	1000	0.00	614429.27	184328.78	1.21	268008.30
Cruise	37000	0		0.745	50302.18	429	1600.00	0.00	2963200.00	180.00	3231208.30
Initial Descent	24000	13000		0.74	49964.58	1000	0.00	649539.51	194861.85	1.15	3426070.16
descent	10000	14000	270		27342.90	3500	18.00	109370.16	32811.05	7.29	3458881.21
approach		10000	210		21266.70	1500	23.33	141776.13	42532.84	4.03	3501414.05
Landing	0	0	128		12962.56		0	0	1400.00	0.00	3502814.05

Lampiran C.4. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Boeing 737-300**.



Tabel Aircraft Performance Airbus A320

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	145 kts	IAS	175 kts	IAS	290 kts	IAS	290 kts	MACH	0.78	TAS	450 kts	MACH	0.78	IAS	290 kts	IAS	kts	V <sub>app</sub> (IAS)	137 kts
Distance	2190 m	ROC	2500 ft/min	ROC	2000 ft/min	ROC	1400 ft/min	ROC	1000 ft/min	MACH	0.79	ROD	1000 ft/min	ROD	3500 ft/min	MCS	210 kts	Distance	1440 m
MTOW	73500 kg									Ceiling	FL410					ROD	ft/min	APC	C
WTC	M									Range	2700 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan Airbus A320.

Airbus A320	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	145		14684.15				2190		2190
Initial Climb	5000	5000	175		17722.25	2500	5.83	35444.03	10633.21	8.03	12823.21
Climb	15000	10000	290		29368.30	2000	24.17	146839.57	44051.87	3.90	56875.08
	24000	9000	290		29368.30	1400	31.07	188793.73	56638.12	2.73	113513.20
Mach Climb	41000	17000		0.87	58742.14	1000	0.00	998616.36	299584.91	0.98	413098.11
Cruise	41000	0		0.78	52665.37	450	2700.00	0.00	5000400.00	0.00	5413498.11
Initial Descent	24000	17000		0.78	52665.37	1000	0.00	895311.22	268593.37	1.09	5682091.47
descent	10000	14000	290		29368.30	3500	19.33	117471.65	35241.50	6.80	5717332.97
approach	10000	10000	250		25317.50	1500	27.78	168781.11	50634.33	3.39	5767967.30
Landing	0	0	137		13873.99		0.00	0.00	1440.00	0.00	5769407.30

Lampiran C.5. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan Airbus A320.

Tabel Aircraft Performance **ATR 72**

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	110 kts	IAS	140 kts	IAS	210 kts	IAS	210 kts	MACH		TAS	275 kts	MACH		IAS	260 kts	IAS	kts	V <sub>app</sub> (IAS)	120 kts
Distance	1500 m	ROC	1500 ft/min	ROC	1000 ft/min	ROC	1000 ft/min	ROC	ft/min	MACH		ROD	ft/min	ROD	1500 ft/min	MCS	170 kts	Distance	1100 m
MTOW	21500 kg									Ceiling	FL250					ROD	ft/min	APC	B
WTC	M									Range	1500 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **ATR 72**.

ATR 72	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	110		11139.7				1500.00		1500.00
Initial Climb	5000	5000	140		14177.8	2500	4.67	28355.23	8506.57	10.00	10006.57
Climb	15000	10000	210		21266.7	2000	17.50	106332.10	31899.63	5.37	41906.20
Climb	24000	9000	210		21266.7	1400	22.50	136712.70	41013.81	3.77	82920.01
Cruise	25000	0	275		27849.25	0	1500.00	0.00	2778000.00	0.00	2860920.01
descent	10000	14000	260		26330.2	3500	17.33	105319.41	31595.82	7.57	2892515.83
approach		10000	200		20254	1500	22.22	135024.89	40507.47	4.24	2933023.30
Landing	0	0	120		12152.4		0.00	0.00	1100.00	0.00	2934123.30

Lampiran C.6. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **ATR 72**.



Tabel Aircraft Performance ATR 42

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	110 kts	IAS	140 kts	IAS	220 kts	IAS	220 kts	MACH		TAS	300 kts	MACH		IAS	230 kts	IAS	kts	V <sub>app</sub> (IAS)	110 kts
Distance	1000 m	ROC	1500 ft/min	ROC	1500 ft/min	ROC	1000 ft/min	ROC	ft/min	MACH		ROD	ft/min	ROD	1500 ft/min	MCS	170 kts	Distance	1000 m
MTOW	18800 kg									Ceiling	FL260					ROD	ft/min	APC	B
WTC	M									Range	1000 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan ATR 42.

ATR 42	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	110		11139.7				1100		1100
Initial Climb	5000	5000	140		14177.8	1000	11.67	70888.07	21266.42	4.03	22366.42
Climb	15000	10000	220		22279.4	1000	36.67	222791.07	66837.32	2.57	89203.74
Climb	24000	9000	220		22279.4	1000	33.00	200511.96	60153.59	2.57	149357.33
Cruise	25000	0	255		25823.85	0	1700.00	0.00	3148400.00	0.00	3297757.33
descent	10000	14000	240		24304.8	1500	37.33	226841.81	68052.54	3.53	3365809.87
approach		10000	200		20254	1500	22.22	135024.89	40507.47	4.24	3406317.34
Landing	0	0	120		12152.4		0.00	0.00	1000.00	0.00	3407317.34

Lampiran C.7. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan ATR 42.

Tabel Aircraft Performance **Farchild Dornier 328-100**

Take-Off		Initial Climb (to 5000 ft)		Initial Climb (to FL150)		Initial Climb (to FL240)		MACH Climb		Cruise		Initial Descent (to FL240)		Descent (to FL100)		Descent (FL100 & below)		Approach	
V <sub>2</sub> (IAS)	110 kts	IAS	140 kts	IAS	220 kts	IAS	220 kts	MACH		TAS	310 kts	MACH		IAS	280 kts	IAS	kts	V <sub>app</sub> (IAS)	110 kts
Distance	1000 m	ROC	2000 ft/min	ROC	1500 ft/min	ROC	1000 ft/min	ROC	ft/min	MACH	0.54	ROD	1000 ft/min	ROD	1500 ft/min	MCS	160 kts	Distance	1200 m
MTOW	13990 kg									Ceiling	FL310					ROD	ft/min	APC	B
WTC	M									Range	1000 NM								

Tabel perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Farchild Dornier 328-100**.

Farchild Dornier 328-100	Tinggi	Beda Tinggi	IAS			ROC	jarak			sudut	Jarak Total
	1	2	3			4	5			6	7
	ft	ft	kts	mach	ft/min	ft/min	nm	ft	m	degree	m
Takeoff	0	0	110		11139.7				1000		1000
Initial Climb	5000	5000	140		14177.8	2500	4.67	28355.23	8506.57	10.00	9506.57
Climb	15000	10000	220		22279.4	2000	18.33	111395.53	33418.66	5.13	42925.23
Climb	24000	9000	220		22279.4	1400	23.57	143222.83	42966.85	3.60	85892.08
Cruise	31000	0		0.54	36460.64	0	1000.00	0.00	1852000.00	0.00	1937892.08
descent	10000	14000	280		28355.6	3500	18.67	113420.91	34026.27	7.04	1971918.35
approach		10000	250		25317.5	1500	27.78	168781.11	50634.33	3.39	2022552.68
Landing	0	0	110		11139.7		0.00	0.00	1200.00	0.00	2023752.68

Lampiran C.8. Aircraft Performance dan Perhitungan jarak terbang pesawat terhadap ketinggian pada setiap pola penerbangan **Farchild Dornier 328-100**.

## **LAMPIRAN D**

### **GAMBAR ANALISA KAWASAN KESELAMATAN OPERASI PENERBANGAN**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

KETERANGAN

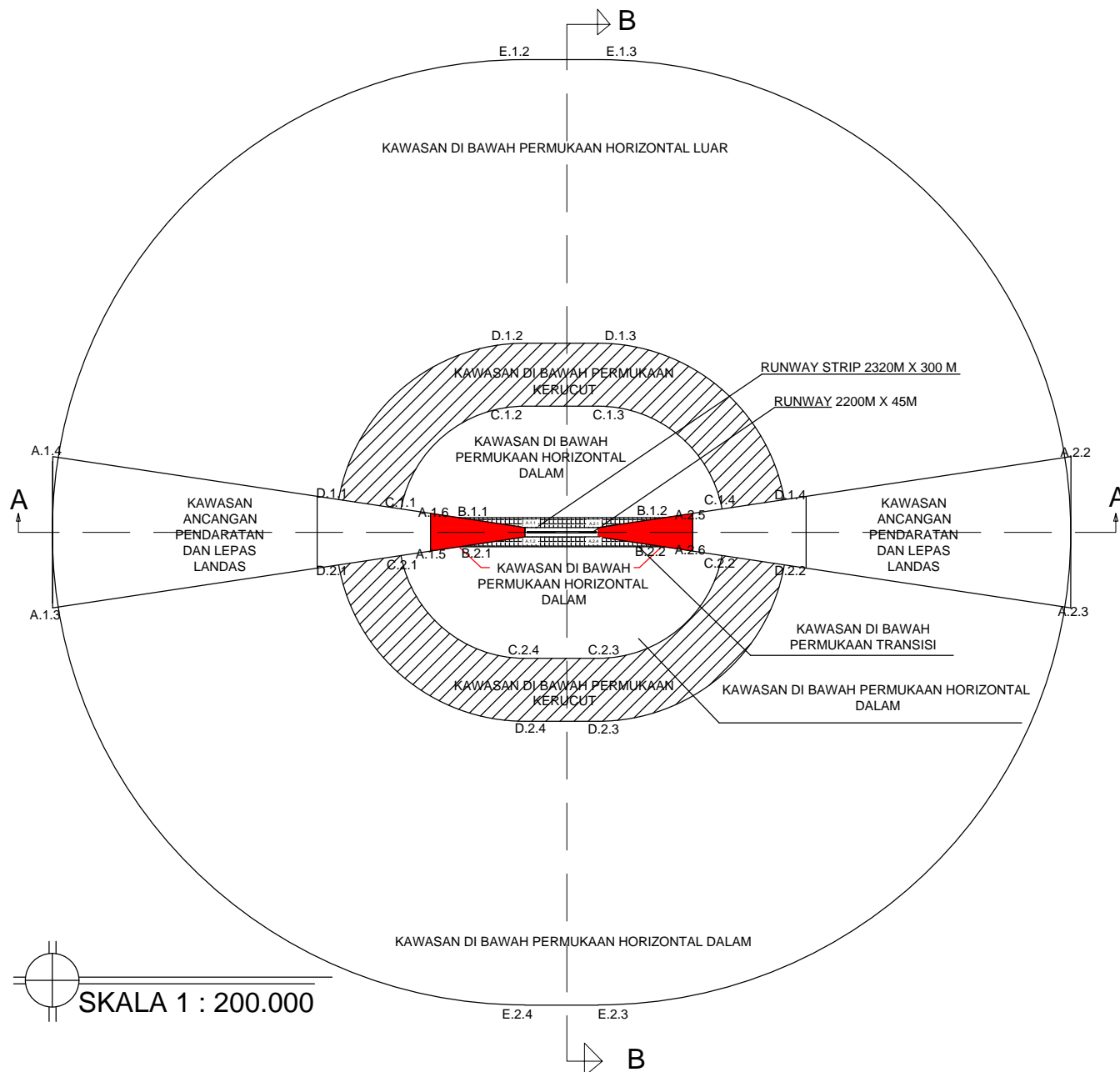
KAWASAN KESELAMATAN  
OPERASI PENERBANGAN

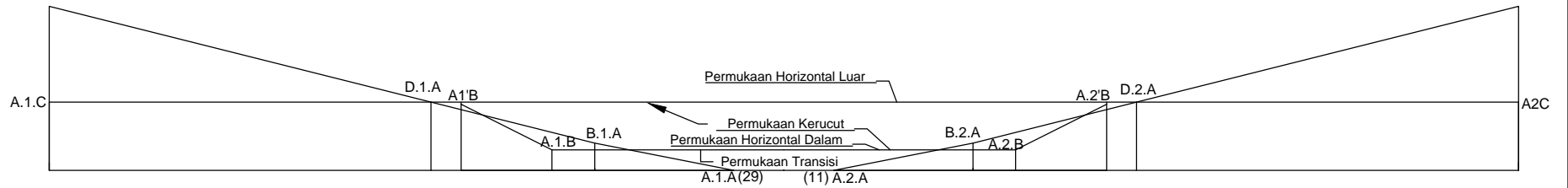
KODE GAMBAR

D.1

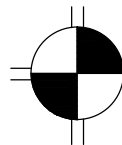
NO. LEMBAR

1





TITIK	A.1.C		D.1.A		A.1'B	A.1.B	B.1.A	A.1.A		A.2.A		B.2.A	A.2.B	A.2'B	D.2.A	E.1
JARAK (M)		2200		2200	2200	2200	2200	60	2200	60	3000	940	2000	660	8400	
JUMLAH JARAK (M)	15000		6600	5940	3940	3000		0		0		3000	3940	5940	6600	15000
KETINGGIAN AES (M)	163		163	158	58	73		13		0		60	45	145	150	150
KETINGGIAN MSL (M)	896		896	891	791	806		746		733		793	778	878	883	883
KEMIRINGAN (%)		0		2.5	5	0	2				2		0	5	2.5	0



## POTONGAN MEMANJANG A-A

### SKALA 1 : 140000



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

#### TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

#### NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

#### NAMA GAMBAR

POTONGAN  
MEMANJANG A-A  
KKOP

#### KETERANGAN

SKALA ARAH A  
1 : 140000

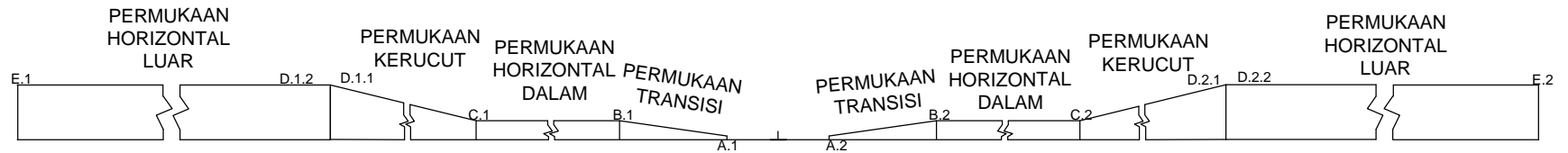
SKALA ARAH B  
1 : 14000

#### KODE GAMBAR

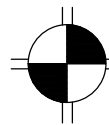
D.2

#### NO. LEMBAR

2



TITIK	E.1	D.1.2	D.1.1	C.1	B.1	A.1	A.2	B.2	C.2	D.2.1	D.2.2	E.1
JARAK (M)		9000	2000	3535	315	150	150	315	3535	2000	9000	
JUMLAH JARAK (M)		15000		6000	4000	150	150	465	4000	6000	15000	
KETINGGIAN AES (M)	156	156	151	51	51	6	0	6	51	51	151	156
KETINGGIAN MSL (M)	891	891	886	786	786	741	747	792	792	892	897	879
KEMIRINGAN (%)		0	5	0	14.3			14.3	0	5	0	



POTONGAN MELINTANG B-B

SKALA 1 : 20000



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

NAMA GAMBAR

POTONGAN  
MELINTANG B-B  
KKOP

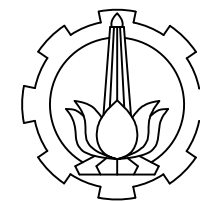
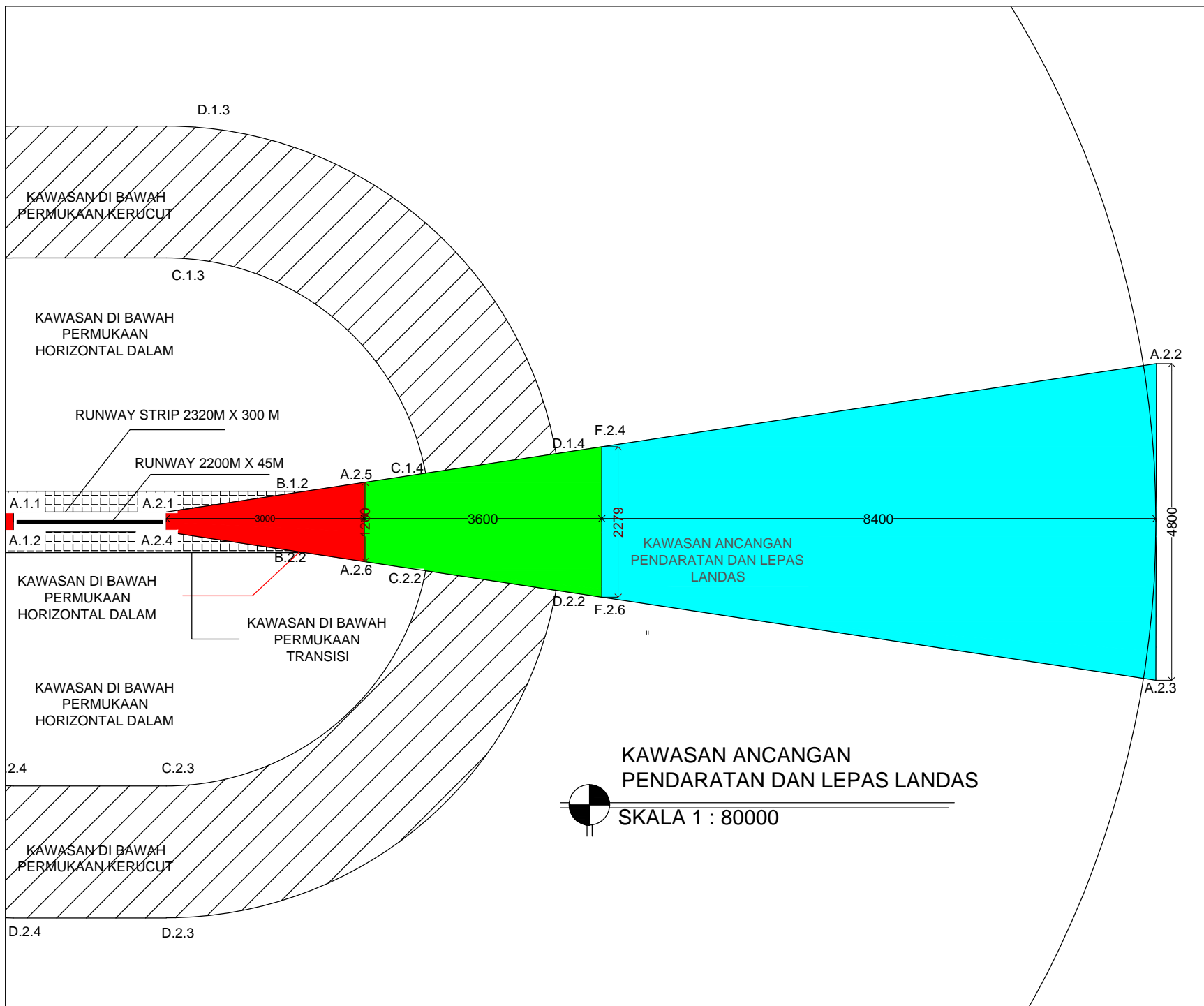
KETERANGAN

KODE GAMBAR

D.3

NO. LEMBAR

3



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

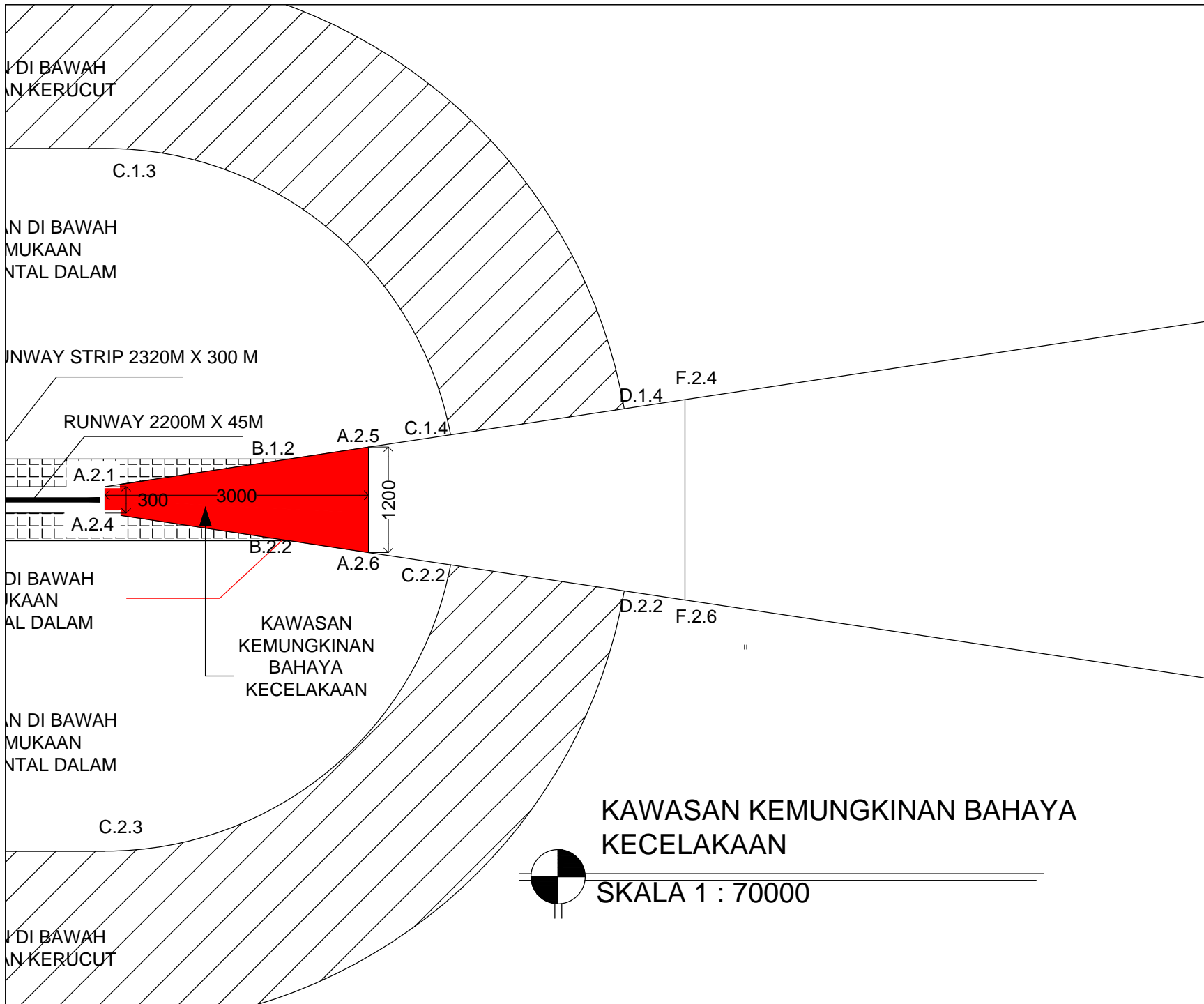
KETERANGAN

KODE GAMBAR

NO. LEMBAR

D.4

4



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

KETERANGAN

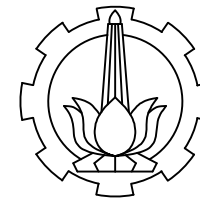
KODE GAMBAR

D. 5

NO. LEMBAR

5





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

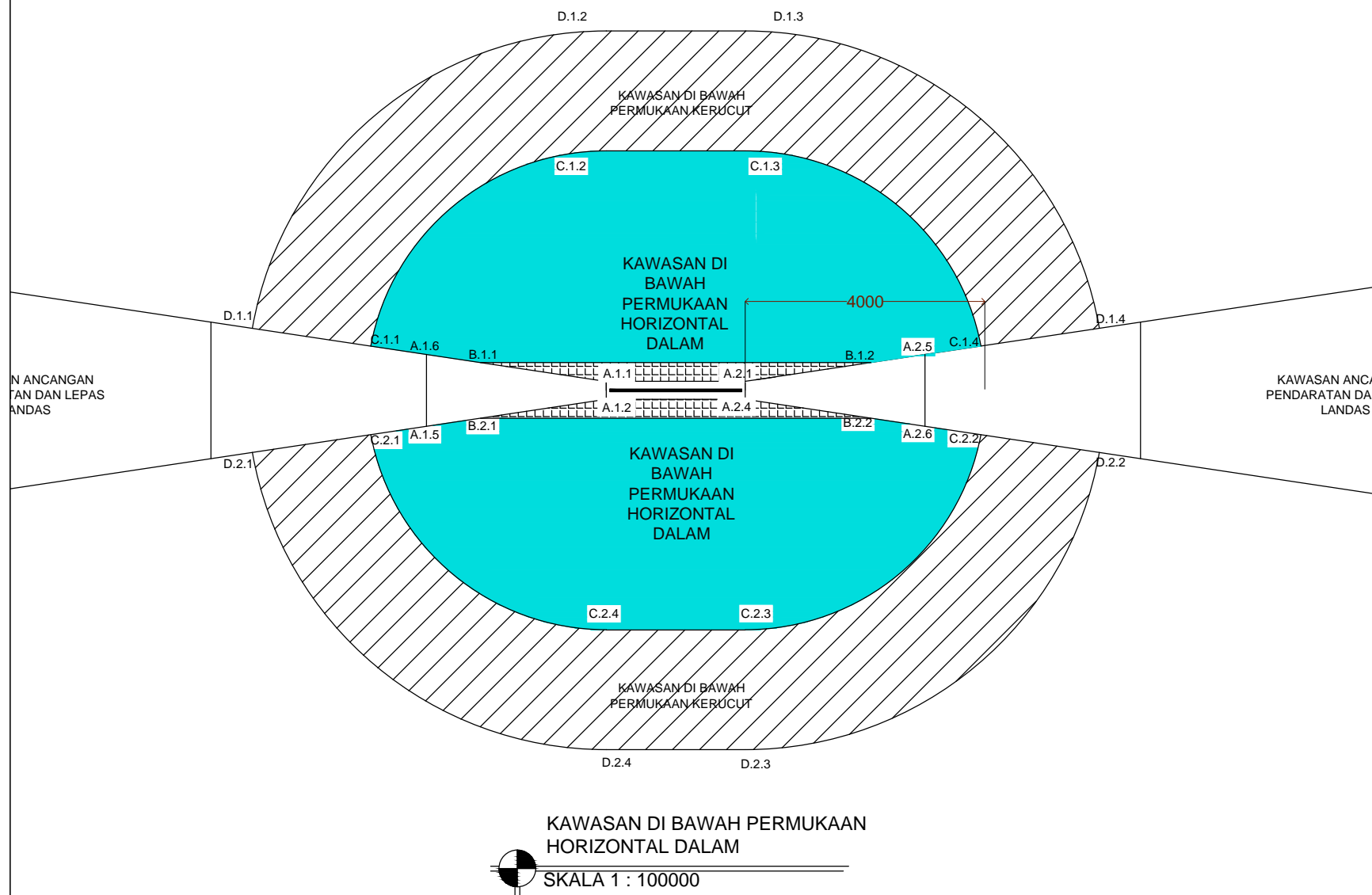
KETERANGAN

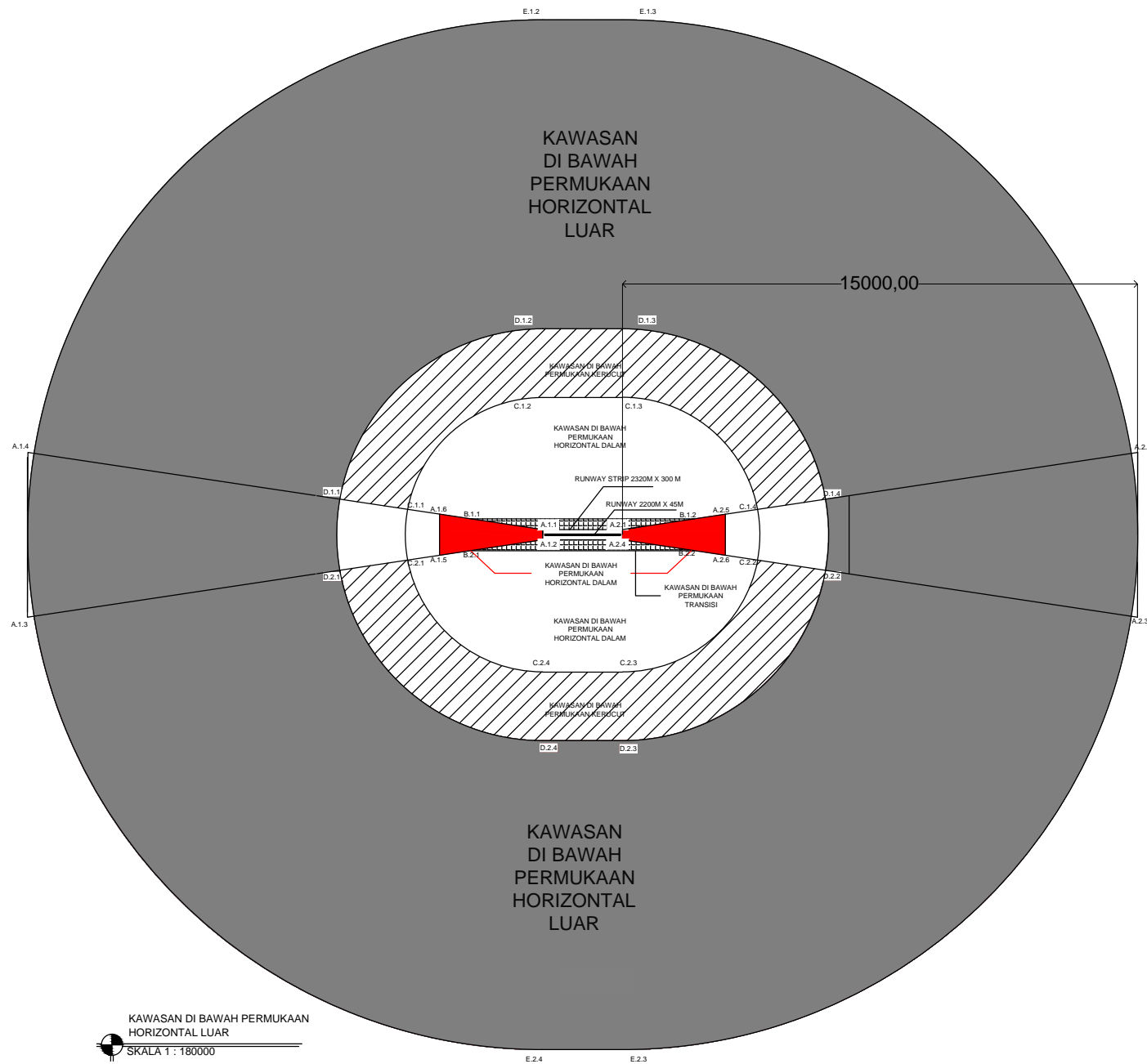
KODE GAMBAR

NO. LEMBAR

D.6

6





7



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

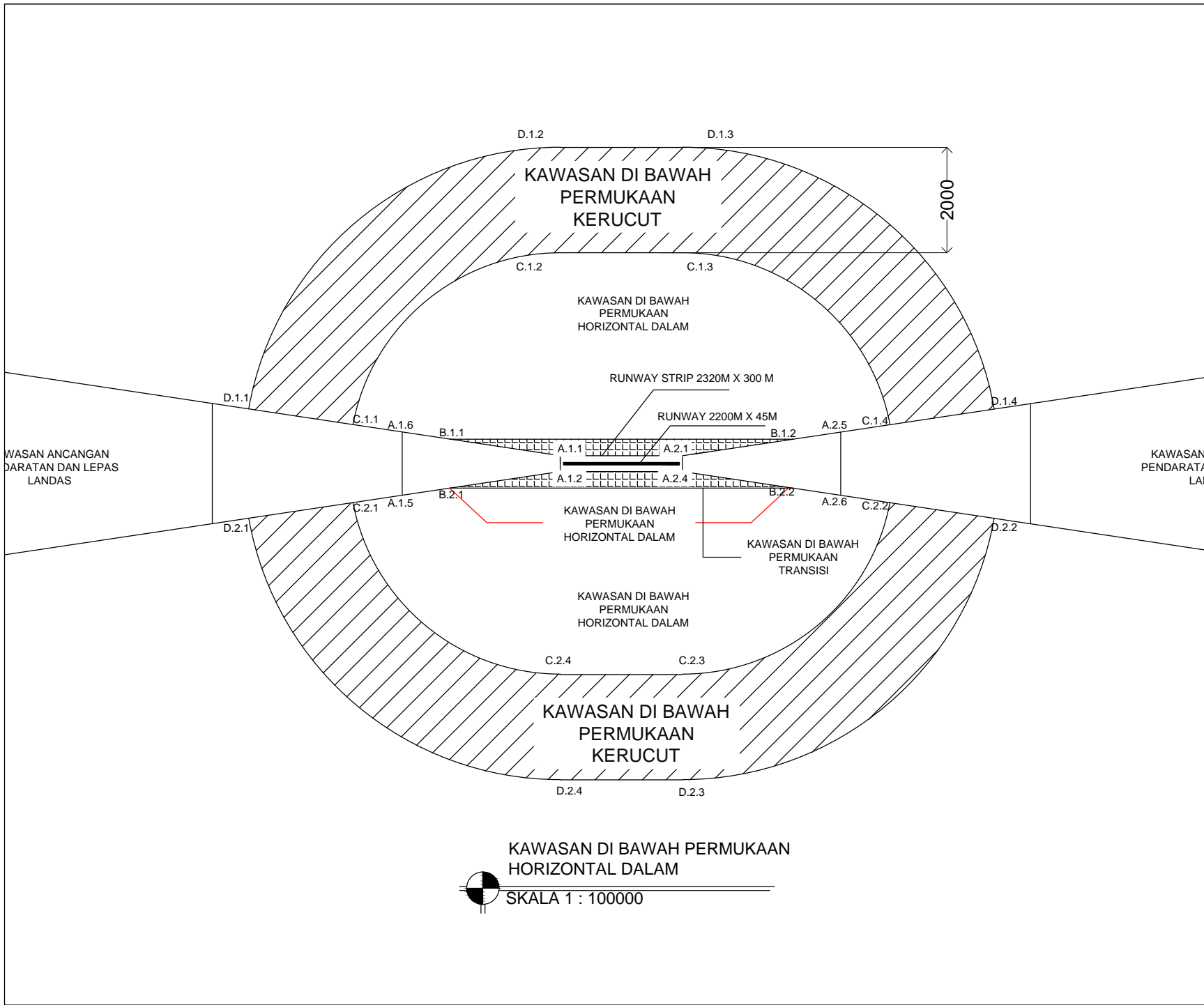
KETERANGAN

KODE GAMBAR

NO. LEMBAR

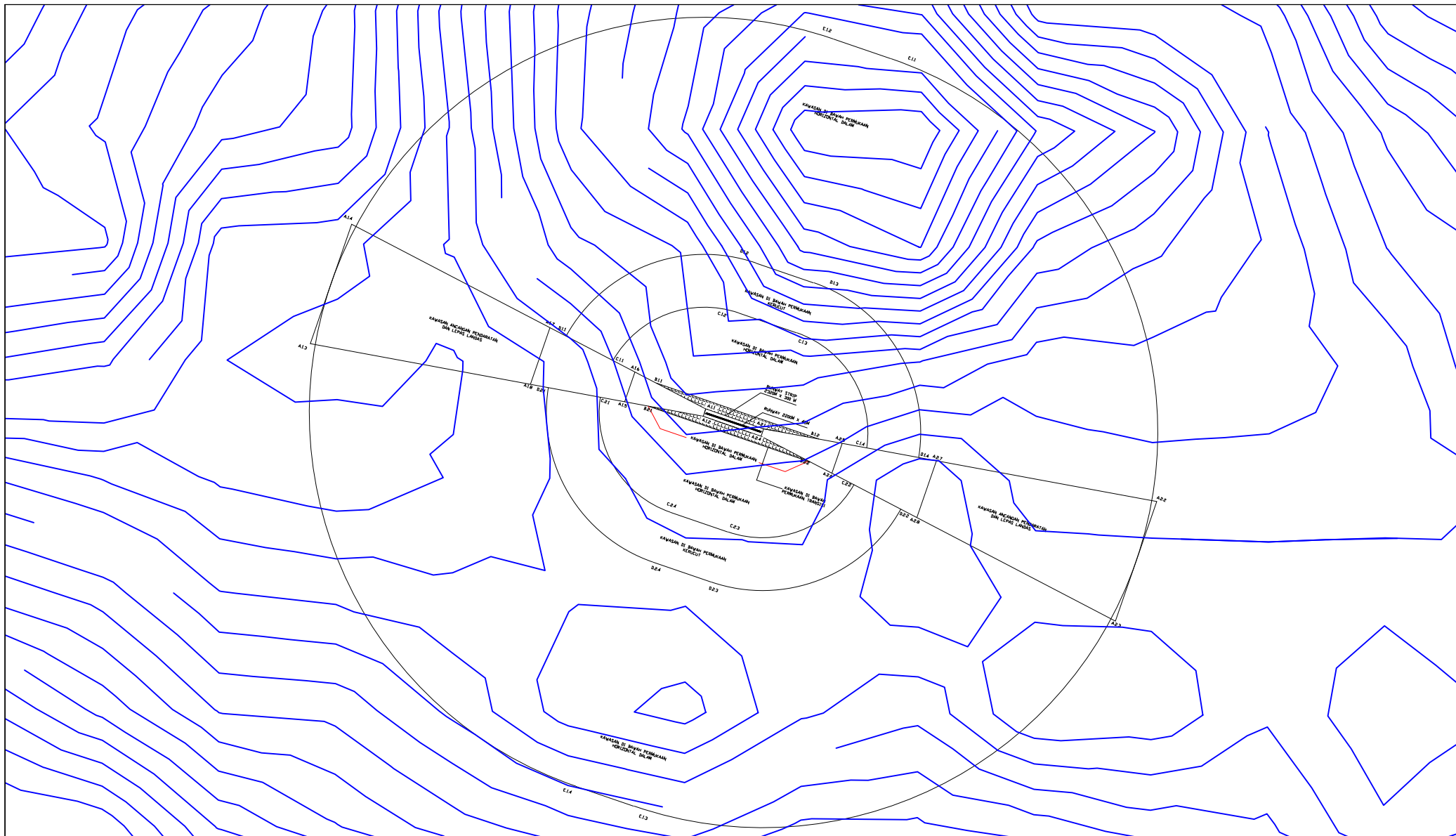
D.8

8



**LAMPIRAN E**

**GAMBAR ANALISA KKOP  
TERHADAP TOPOGRAFI**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

NAMA GAMBAR

GAMBAR KKOP  
PADA PETA KONTUR

KETERANGAN

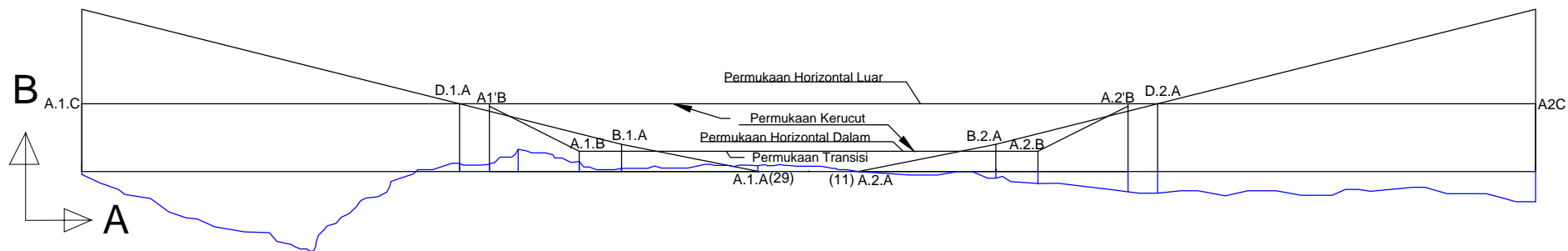
SKALA 1 : 100.000

KODE GAMBAR

E.1

NO. LEMBAR

9



TITIK	A.1.C	D.1.A		A.1'B	A.1.B	B.1.A	A.1.A		A.2.A		B.2.A	A.2.B	A.2'B	D.2.A	E.1	
JARAK (M)		2200		2200	2200	2200	60	2200	60	3000	940	2000	660	8400		
JUMLAH JARAK (M)	15000			6600	5940	3940	3000	0	0		3000	3940	5940	6600	15000	
KETINGGIAN AES (M)	163			163	158	58	73	13	0		60	45	145	150	150	
KETINGGIAN MSL (M)	896			896	891	791	806	746	733		793	778	878	883	883	
KETINGGIAN TOPOGRAFI (M)	726			751	749	782	755	741	746	733		718	706	688	685	666



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

NAMA GAMBAR

POTONGAN  
MEMANJANG A-A  
KKOP TERHADAP  
TOPOGRAFI

KETERANGAN

SKALA ARAH A  
1 : 140000  
SKALA ARAH B  
1 : 14000

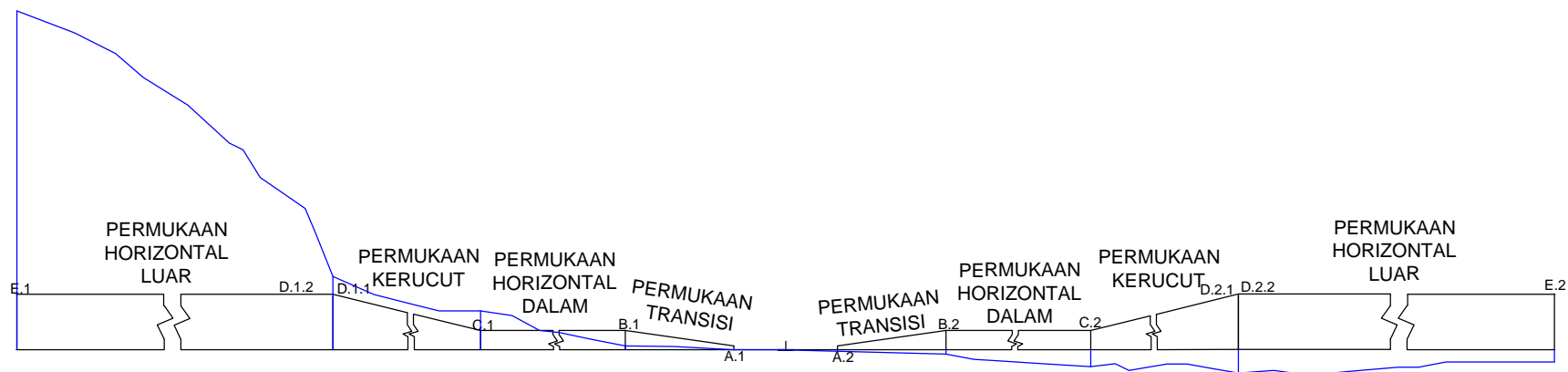
 : ELEVASI TOPOGRAFI

KODE GAMBAR

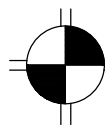
E.2

NO. LEMBAR

10



TITIK	E.1	D.1.2	D.1.1	C.1	B.1	A.1	A.2	B.2	C.2	D.2.1	D.2.2	E.1
JARAK (M)		9000	2000	3535	315	150	150	315	3535	2000	9000	
JUMLAH JARAK (M)		15000		6000	4000	150	150	465	4000	6000	15000	
KETINGGIAN AES (M)	156	156	151	51	51	6	0	6	51	51	151	156
KETINGGIAN MSL (M)	910	910	905	803	803	752	743	794	794	894	899	899
KETINGGIAN TOPOGRAFI (M)	1727	958	889	756	746	745	737	733	696	677		709



SKALA 1 : 20000



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

NAMA GAMBAR

POTONGAN  
MELINTANG B-B  
KKOP TERHADAP  
TOPOGRAFI

KETERANGAN

SKALA  
1 : 20000

 : ELEVASI TOPOGRAFI

KODE GAMBAR

E.3

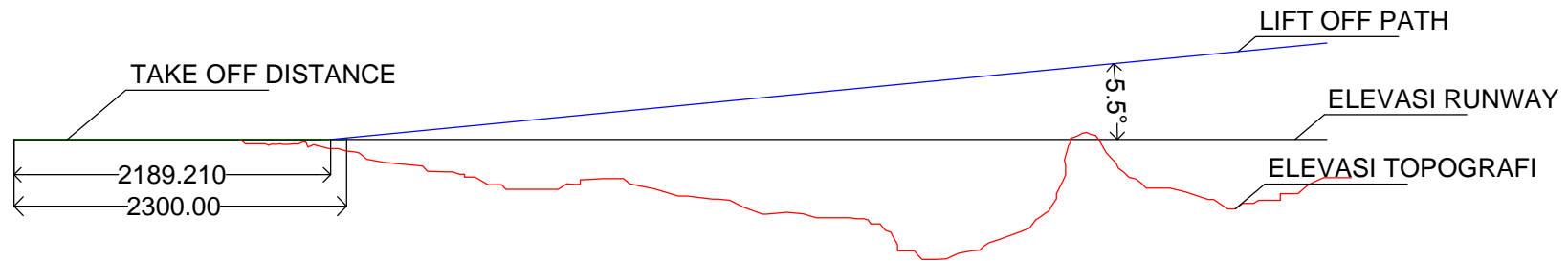
NO. LEMBAR

11

## **LAMPIRAN F**

### **GAMBAR ANALISA POLA PERGERAKAN PESAWAT TERHADAP TOPOGRAFI**





 POLA PERGERAKAN BOEING 737-800  
SKALA 1 : 50000



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

NAMA GAMBAR

POLA PERGERAKAN  
BOEING 737-800  
TERHADAP  
TOPOGRAFI

KETERANGAN

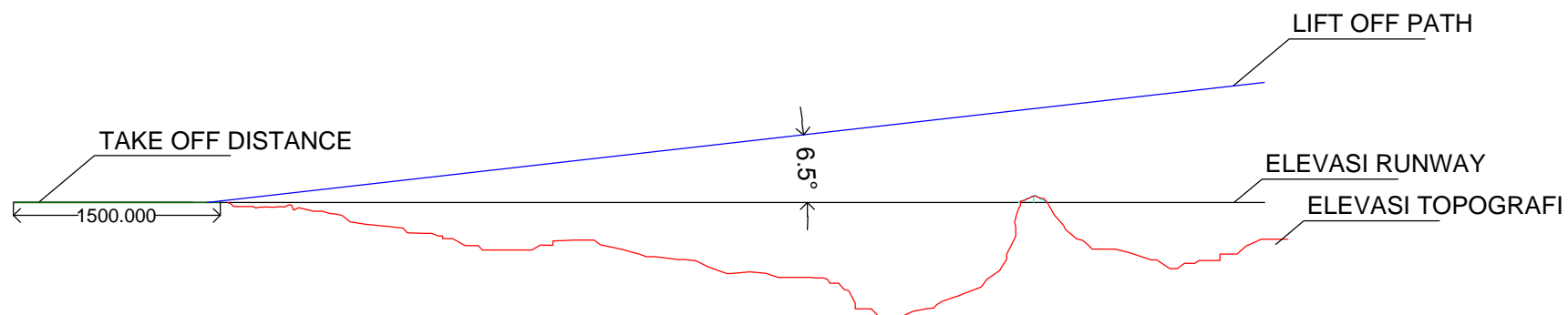
KODE GAMBAR


F.1

NO. LEMBAR

12



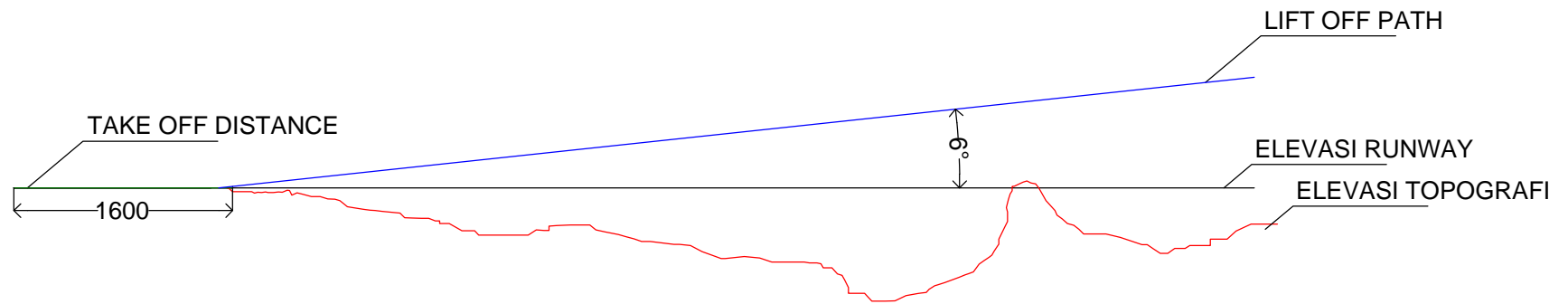


 POLA PERGERAKAN BOEING 737-500  
SKALA 1 : 50000



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA GAMBAR	KETERANGAN	KODE GAMBAR
EVALUASI KETERSEDIAAN RUANG UDARA DALAM KAITANNYA DENGAN KESELAMATAN OPRASIONAL DI BANDARA HUSEIN SASTRANEGARA	Ir. ERVINA AHYUDANARI ME, Ph.D .	POLA PERGERAKAN BOEING 737-800 TERHADAP TOPOGRAFI		F.3
	NAMA MAHASISWA			NO. LEMBAR
	RISKA RIF'ATUN NISWAH 3112100092			14

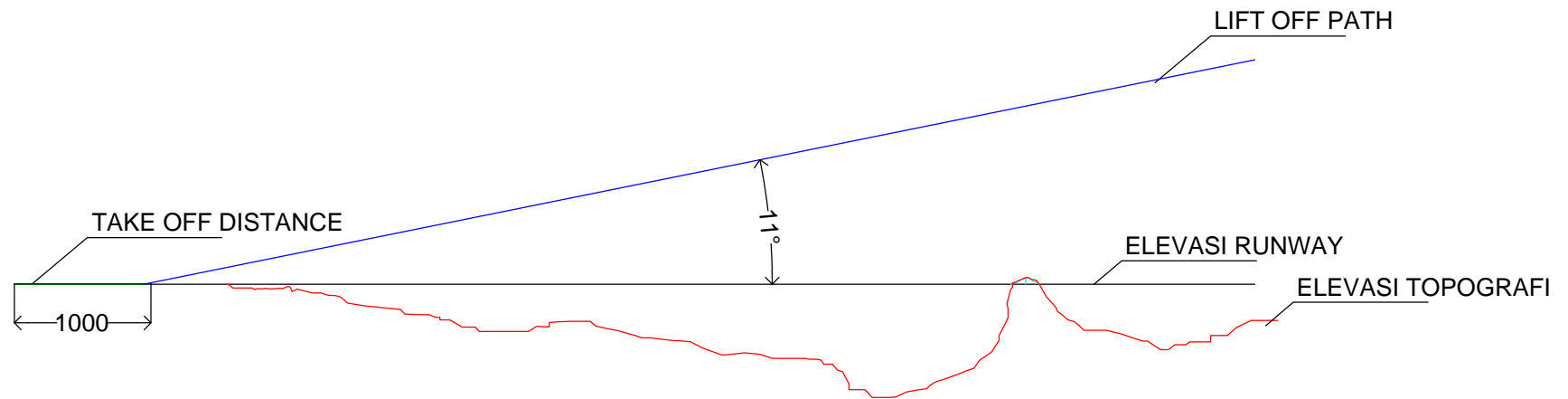



**POLA PERGERAKAN BOEING 737-300**  
**SKALA 1 : 50000**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 S1 TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA GAMBAR	KETERANGAN	KODE GAMBAR
EVALUASI KETERSEDIAAN RUANG UDARA DALAM KAITANNYA DENGAN KESELAMATAN OPRASIONAL DI BANDARA HUSEIN SASTRANEGARA	Ir. ERVINA AHYUDANARI ME, Ph.D .	POLA PERGERAKAN BOEING 737-800 TERHADAP TOPOGRAFI		<b>F.4</b>
	NAMA MAHASISWA			NO. LEMBAR
	RISKA RIF'ATUN NISWAH 3112100092			<b>15</b>



POLA PERGERAKAN FARCHILD  
DORNIER 328-100



SKALA 1 : 50000



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

NAMA GAMBAR

POLA PERGERAKAN  
BOEING 737-800  
TERHADAP  
TOPOGRAFI

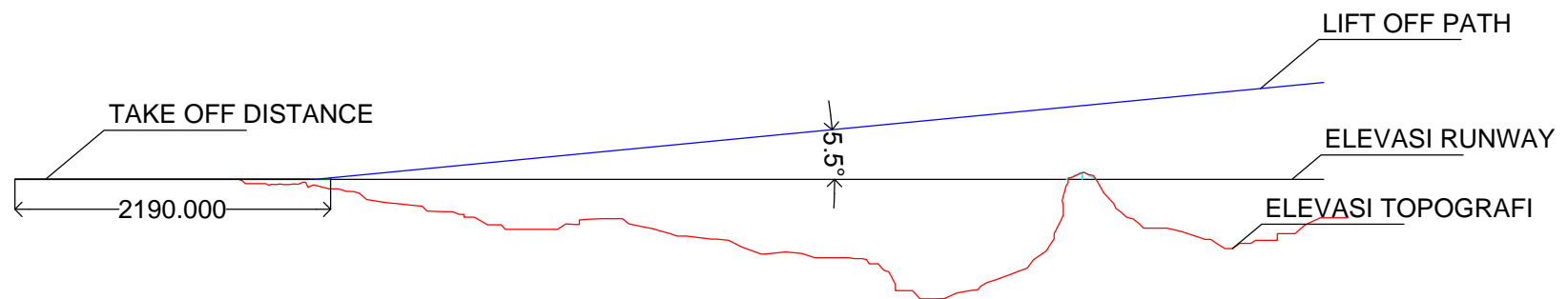
KETERANGAN


KODE GAMBAR

F.5

NO. LEMBAR

16



 **POLA PERGERAKAN AIRBUS A320**  
**SKALA 1 : 50000**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 S1 TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
 RUANG UDARA  
 DALAM KAITANNYA DENGAN  
 KESELAMATAN OPRASIONAL  
 DI BANDARA HUSEIN  
 SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
 ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
 3112100092

NAMA GAMBAR

POLA PERGERAKAN  
 BOEING 737-800  
 TERHADAP  
 TOPOGRAFI

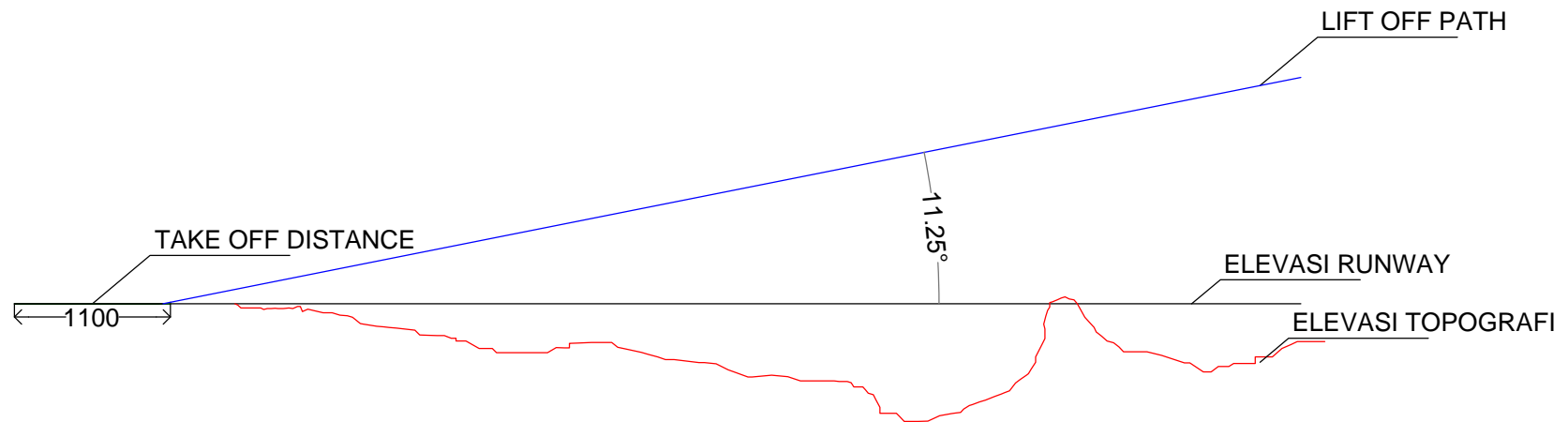
KETERANGAN


KODE GAMBAR

**F.6**

NO. LEMBAR

**17**




**POLA PERGERAKAN ATR 42**  
 SKALA 1 : 50000



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 S1 TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
 RUANG UDARA  
 DALAM KAITANNYA DENGAN  
 KESELAMATAN OPRASIONAL  
 DI BANDARA HUSEIN  
 SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
 3112100092

NAMA GAMBAR

POLA PERGERAKAN  
 BOEING 737-800  
 TERHADAP  
 TOPOGRAFI

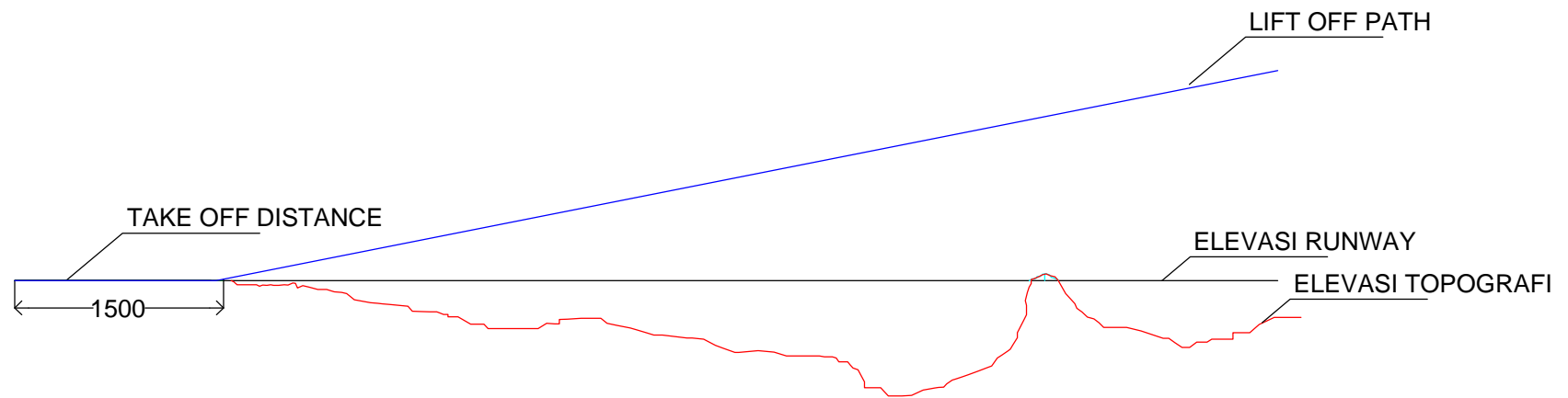
KETERANGAN

KODE GAMBAR

**F.7**

NO. LEMBAR

**18**



 **POLA PERGERAKAN ATR 72**  
**SKALA 1 : 50000**



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 S1 TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
 RUANG UDARA  
 DALAM KAITANNYA DENGAN  
 KESELAMATAN OPRASIONAL  
 DI BANDARA HUSEIN  
 SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
 ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
 3112100092

NAMA GAMBAR

POLA PERGERAKAN  
 BOEING 737-800  
 TERHADAP  
 TOPOGRAFI

KETERANGAN

KODE GAMBAR

**F.8**

NO. LEMBAR

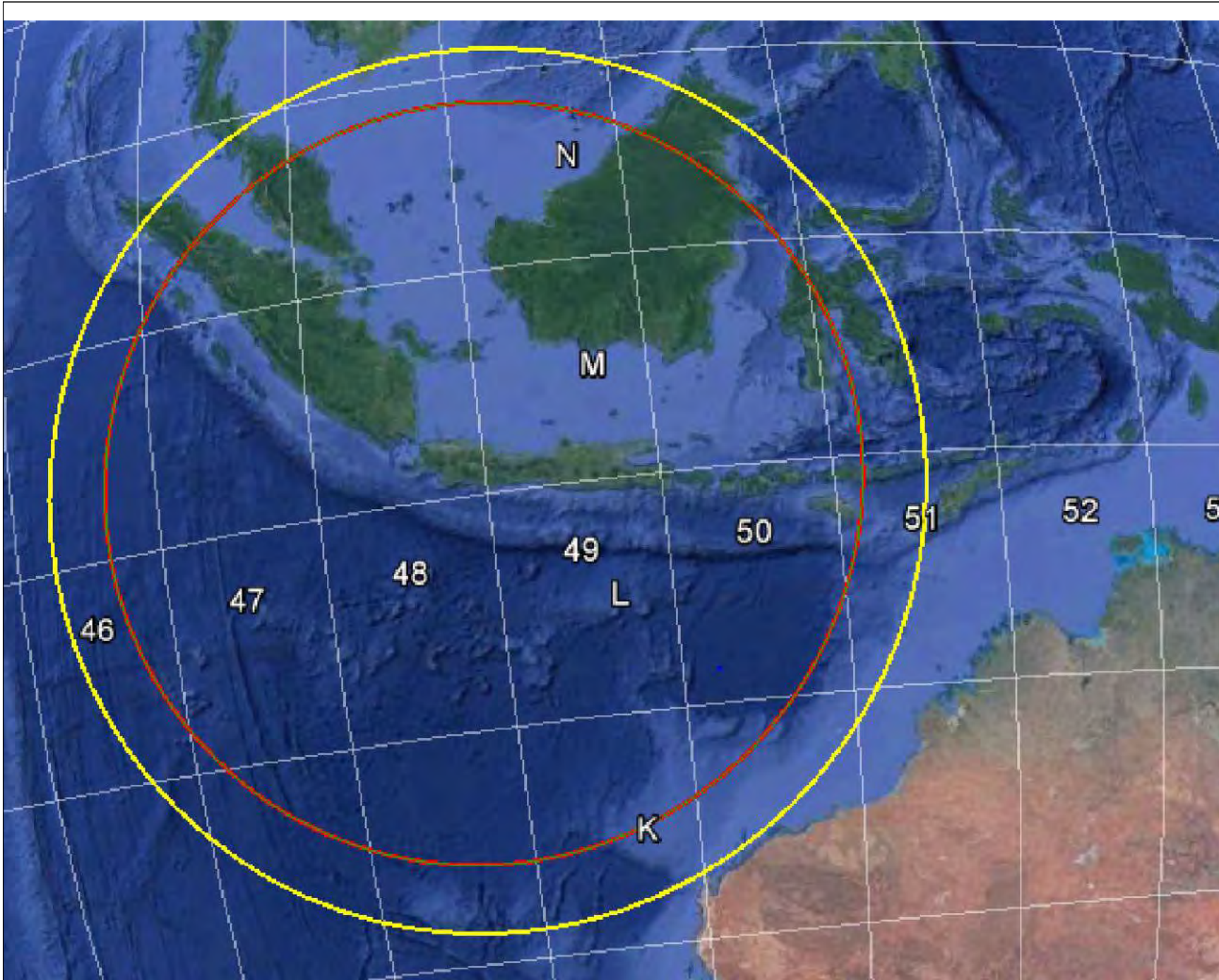
**19**



# **LAMPIRAN G**

## **LAIN – LAIN**





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

KETERANGAN

RADIUS PENERBANGAN

820 nm

877 nm





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
SI TEKNIK SIPIL

TUGAS AKHIR

EVALUASI KETERSEDIAAN  
RUANG UDARA  
DALAM KAITANNYA DENGAN  
KESELAMATAN OPRASIONAL  
DI BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI  
ME, Ph.D .

NAMA MAHASISWA

RISKA RIF'ATUN NISWAH  
3112100092

KETERANGAN

KAWASAN KESELAMATAN  
OPERASI PENERBANGAN  
BANDARA HUSEIN  
SASTRANEGARA

— Batas KKOP

KODE GAMBAR

NO. LEMBAR

G.3

21

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Tugas Akhir ini merupakan evaluasi ketersediaan ruang udara dalam kaitannya dengan keselamatan operasional dengan mengevaluasi kawasan keselamatan operasi penerbangan pada *runway* Bandara Husein Sastranegara yang di proyeksikan pada topografi kawasan Bandara Husein Sastranegara. Keselamatan operasional juga ditentukan oleh pergerakan pesawat yang tidak terganggu oleh topografi. Panjang *runway*, topografi, dan pola pergerakan pesawat sangat berpengaruh dalam evaluasi ketersediaan ruang udara dalam kaitannya dengan keselamatan operasional Bandara Husein Sastranegara.

Dari analisis yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Hasil analisis Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) dengan topografi wilayah sekitar bandara Husein Sastranegara menunjukkan bahwa:
  - a. Pada arah memanjang *runway*, kawasan keselamatan operasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi dapat menjamin keselamatan operasi penerbangan.
  - b. Pada arah melintang *runway*, kawasan operasi penerbangan Bandara Husein Sastranegara terhadap topografi tidak memenuhi, karena elevasi topografi lebih tinggi dari pada elevasi KKOP.
  - c. Perlu di tambahkan *obstacle light* pada penghalang (elevasi topografi yang lebih tinggi dari kawasan horizontal luar KKOP) dengan jenis lampu III berwarna putih dengan jarak maksimal 45m antar lampu dan jumlah kedipan 40-60 kali permenit.
  - d.
2. Analisis berat pesawat terhadap ruang udara, menunjukkan bahwa:

- a. Sudut *lift off* ditentukan dengan menggunakan *angle of attack* untuk mendapatkan *take off run*.
  - b. Dengan take off distance 2300 meter dan mengalami *lift off* menuju ketinggian 35ft (10,7 m) ke arah *runway* 29-11. Setelah diperhitungkan dan mendapatkan TOR sepanjang 2189.21 meter dengan sudut *lift off*  $5.5^{\circ}$ .
  - c. Pada jarak 9.5 km dari ujung *runway*, elevasi muka tanah mencapai 782 m dari permukaan air laut, dan pada jarak tersebut, berdasarkan pola pergerakan pesawat, pesawat berada pada ketinggian 1056 m diatas permukaan air laut. Maka dapat disimpulkan bahwa pesawat tidak mengalami gangguan keselamatan operasional dan memenuhi jarak ijin pesawat terhadap topografi.
3. Destinasi pesawat dari Bandara Husein Sastranegara menuju Bandara Kualanamu memerlukan waktu 8400s ( 2 jam 20 menit) dengan Boeing 737-800 sehingga kecepatan rata-rata pesawat tersebut adalah 5.9 nm/menit. Dalam radius destinasi 820 nm pesawat dapat menghabiskan bahan bakar sebesar 10130 liter, sehingga konsumsi bahan bakar pesawat per panjang destinasi yang ditempuh adalah 15 liter/nautical miles.
- a. Operasional pesawat berada pada kesetimbangan optimum pada jarak tempuh 877 nm (1624.2 km) dengan mengkonsumsi bahan bakar sebesar 10734 liter dan payload sebesar 15853 kg.
  - b. Pesawat boeing 737-800 yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara Bandung, dapat memperpanjang jarak tempuhnya sebesar 52 *nautical miles* dari jarak penerbangan terjauh 820 nm menjadi 877 nm.
  - c. Pesawat Boeing 737-800 yang beroperasi di Bandara Husein Sastranegara dapat menambah destinasi ke beberapa bandara untuk mengoptimalkan operasional penerbangan. Destinasi baru yang dapat ditempuh oleh pesawat Boeing 737-800 dari Bandara Husein Sastranegara antara lain adalah:

1. Bandara Mutiara (Kalimantan)
2. Bandar Udara Lawas (Kalimantan)
3. Bandara Bolaang (Sulawesi)
4. Bandara Baubau (Sulawesi)
5. Bandara Soa ( Nusa Tenggara)
6. Bandara Teuku Cut Ali (Aceh)
7. Bandara Antar Bangsa Brunei (Brunei Darrussalam)
8. Lapangan terbang sultan Ismail Petra ( Malaysia)
9. Bandara Antar Bangsa Pulau Pinang (Malaysia)

## 5.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan penulis pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam menentukan jarak penerbangan pada evaluasi berat pesawat yang berpengaruh terhadap ruang udara dalam tugas akhir ini tidak mempertimbangkan jalur pesawat sebenarnya dalam lingkaran penerbangan Bandara Husein Sastranegara. Sehingga untuk penelitian selanjutnya, perlu memperhitungkan jalur pesawat di udara sehingga mendapatkan jarak tempuh pesawat yang mendekati riil, untuk menentukan konsumsi bahan bakar pesawat. Jalur pesawat yang sesungguhnya dapat diperoleh dari data navigasi pergerakan pesawat pada masing-masing bandara.
2. Pada arah potongan meintang KKOP, ketinggian topografi melebihi batas KKOP. Oleh karena itu, penulis menyarankan untuk ditambahkan Tanda dan Lampu pada penghalang (*Obstacle Light*) di sekitar daerah penghalang.
3. Dalam tugas akhir ini tidak diperhitungkan kelayakan secara ekonomi penerbangan. Sehingga penulis merekomendasikan untuk melakukan evaluasi tentang ekonomi penerbangan.

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**



## DAFTAR PUSTAKA

- Angkasa Pura II. 2015. **Company Profile PT. Angkasa Pura II.** Bandara Husein Sastranegara. Bandung.
- Ashford, Norman J. Mumayiz, Saleh. Wright, Paul H. 2011. **Airport Engineering.** Fourt Edition. Penerbit John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Badan Meteorologi dan Geofisika. 2015. **Data Klimatologi Kota Bandung.** Bandung.
- Commercial Aviation Safety Team (CAST). 2016. **Electronic Repository of Safety Knowledge : SKYbrary** <URL: <http://www.skybrary.aero/index.php>>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. 2004. **SNI 03-7051-2004. Pemberian Tanda dan Pemasangan Lampu Halangan (Obstacle Light) di Sekitar Bandar Udara.** Departemen Perhubungan RI. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. 2005. **SNI 03-7112-2005. Kawasan Keselamatan Operasi Bandara.** Departemen Perhubungan RI. Jakarta.
- EUROControl. 2016. **Aircraft Performance Database.** <URL: <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx>>
- Federal Aviation Administration. 2005. **Advisory Circular 150/5325-4B, Runway Length Requirement for Airport Design.** US Department of Transportation. Washington, D.C.
- Federal Aviation Regulations. 2016. Part 25: **Airowrthiness Standard: Transport Category.** US Department of Transportation. Washington, D.C.
- Google Earth: Kota Bandung. 2016. Bandung. <URL: <https://www.google.co.id/maps/place/Bandung>>
- Hertanto, Hendrik. 2011. Teknik Membaca Peta Kontur. <URL: <http://geoenviron.blogspot.co.id/2011/12/teknik->

- membaca-peta-kontur.html> Diunduh tanggal 13 Juli 2016.
- Horonjeff, Robert. Mc Kelvey, Francis X. Sproule, William J. Young, Seth B. Fifth Edition. 2010. **Planning and Design of Aiports**. Penerbit Mc Graw – Hill Inc. New York.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 1999. **Aerodromes-Annex 14 International Standards & Recommended Practices**. 3rd Edition. Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 1998. **Aerodromes Design And Operation dan Airport Services Manual (ICAO) Part 6, Control of Obstacles, Doc 9137-AN/898**. 2nd Edition. Canada.
- International Virtual Aviation Organization (IVAO). 2015. **Aircraft Weight**. Training Documentation Manager Erwan L’hoteller. Version 1.2.
- Kennedy, J., Hutchinson, T., Tilden, M., Pappot, E. 2016. **Flight Stat**. <URL: <http://www.flightstats.com/>>
- Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara Nomor: SKEP/48/III/2001. 2001. **Pedoman Penelitian Rancangan Keputusan Menteri Perhubungan Tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan di Bandar Udara dan Sekitarnya**. Jakarta.
- Keputusan Direktur Jendral Perhubungan Udara Nomor: SKEP/77/VI/2005. 2005. **Persyaratan Teknis. Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara**. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor: 70 Tahun 2001. 2001. **Kebandarudaraan**. Jakarta.
- Swatton, Peter J. 2008. **Aircraft Performance Theory and Practice for Pilots-Second Edition**. Penerbit A John Willey & Son. United Kingdom.
- Wsdot: Understanding Part 77: **Civil Airport Imaginary Surfaces** <URL: <https://www.youtube.com/watch?v=bYor0A3pu50>>

## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Riska Rif'atun Niswah. Penulis dilahirkan di Kota Kediri, 01 Juni 1994. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Dharmawanita Sambi, SDN Kuwik II Kunjang Kediri, SMPN 1 Kediri dan SMAN 10 Malang Samporna Academy. Penulis meneruskan pendidikan tingkat sarjana di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (FTSP ITS) melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) Tulis pada tahun 2012.

Selama berkuliah di Jurusan Teknik Sipil ITS, penulis lebih aktif di bidang organisasi dan kepanitiaan. Pada bidang akademik penulis tertarik pada bidang Transportasi. Pada bidang organisasi penulis aktif sebagai staff Hubungan Luar BEM ITS pada tahun kedua dan sebagai ketua CITRA (Civil ITS Tradisi Juara) pada tahun ketiga. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan di lingkup jurusan dan institut. Pada tahun terakhir penulis mendapatkan penghargaan mawapres II FTSP. Penulis dapat dihubungi melalui email, [riska.niswah@gmail.com](mailto:riska.niswah@gmail.com).